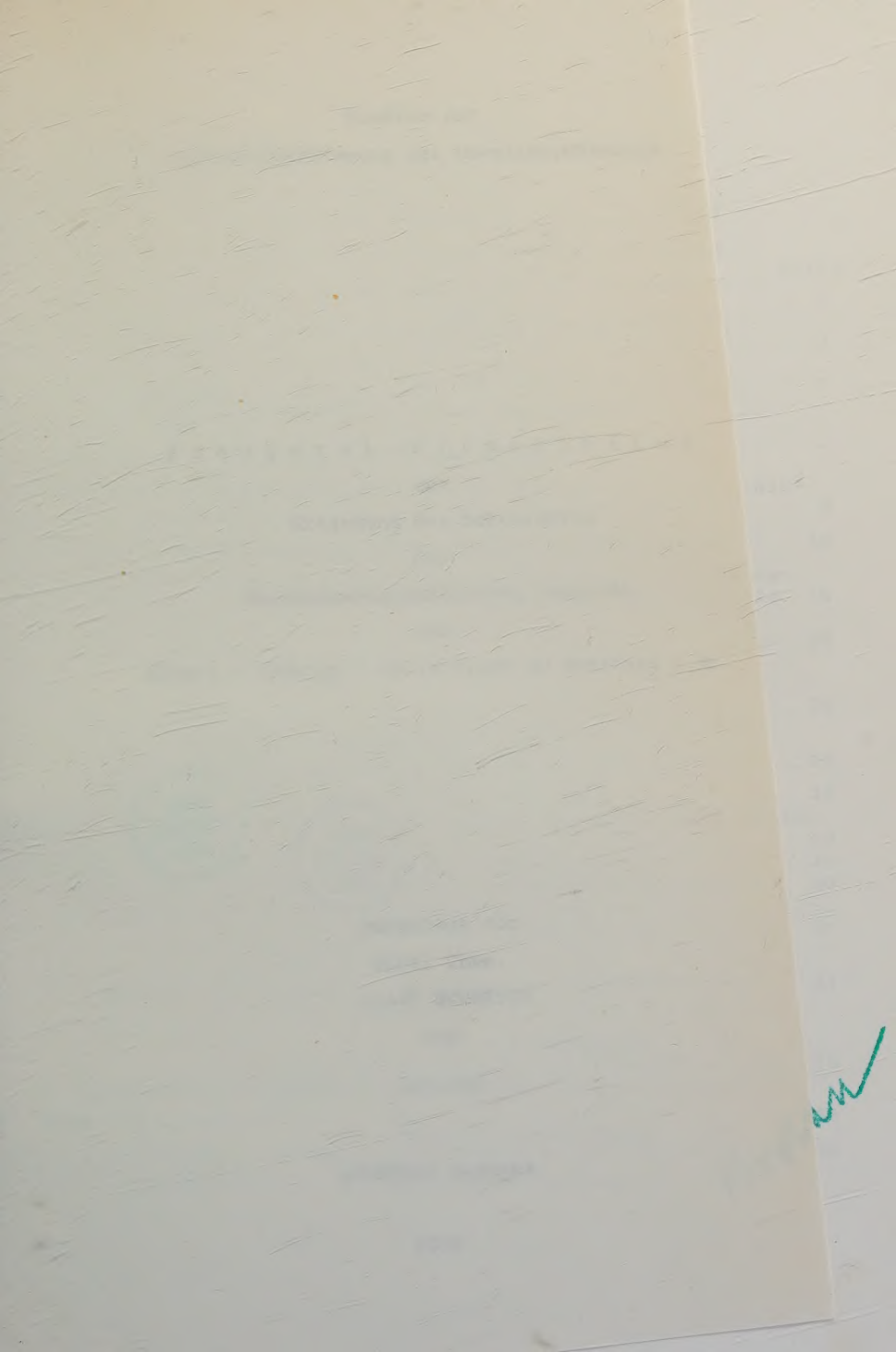


Ansätze zur Standortbestimmung der Umweltproblematik

von
JOSEF SCHWITTE

Mitteilungen
aus dem
Arbeitskreis für Forstliche BIOMETRIE
Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. M. PRODAN

1978



Ansätze zur
Standortbestimmung der Umweltproblematik

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Forstwissenschaftlichen Fakultät
der
Albert - Ludwigs - Universität zu Freiburg i.Br.



vorgelegt von

Dipl. Chem.

Josef SCHWITTE

aus

Dorsten

gekürzte Ausgabe

1978

Handwritten signature in green ink, possibly "Rothmann".

Dekan: Prof.Dr.J.P. VITÉ
Leiter der Arbeit: Prof.Dr.Dr.h.c.M.PRODAN
Referent: Prof.Dr.Dr.h.c.M.PRODAN
Korreferent: Prof.Dr.H. STUMPF (Univ. Tübingen)

Tag der Verkündigung des Prüfungsergebnisses: 19.6.1978



Die Dissertation besteht aus insgesamt drei Bänden:

- I Haupt-Text
(einschließlich Einleitung und Zusammenfassung)
- II Materialien - Anhang
- III Literatur-Verzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. VORWORT	1
2. EINLEITUNG	2
2.1 <u>KAPITEL I</u> Langzeitaspekte der Umweltproblematik	7
2.1.1 Einige allgemeine Vorbemerkungen	7
2.1.2 Die gegenwärtige Ökokrise vor dem zeitlichen Hintergrund der Erd- und Evolutionsgeschichte.	9
2.1.3 Das Beispiel der fossilen Brennstoffe	14
2.1.4 Das forstwirtschaftliche Prinzip der Nachhaltigkeit und die ökologische Langzeit-Verantwortung	18
2.2 <u>KAPITEL II</u> Das Bevölkerungswachstum	22
2.3 <u>KAPITEL III</u> Gesetzmäßigkeiten und Mechanismen der Ökokrise	29
2.3.1 Beispiele wachsender Umweltbeeinträchtigungen	29
2.3.1.1 Die Eutrophierung von Seen	29
2.3.1.2 Die Beeinträchtigung der stratosphärischen Ozon-Schicht	29
2.3.1.3 Erschöpfung der Rohstoffvorräte	30
2.3.1.4 Verstärkung des Treibhauseffektes der Atmosphäre durch Kohlendioxid (CO ₂)	30
2.3.1.5 Wachstum der Erzeugung und des Verbrauches von Energie	30
2.3.2 Das Gleichnis von der Wasserpflanze im Gartenteich und das gefühlsmäßige lineare Denken des Menschen	32
2.3.3 Mathematische Eigenschaften von Exponentialfunktionen und resultierende praktische Konsequenzen	35
2.3.4 Kurze Zwischenbilanz	67
2.3.5 Modellrechnungen zum Verbrauch der Welt-Mineral-ölvorräte	68

	Seite
2.4 <u>KAPITEL IV</u>	75
Zivilisationsökologische Belastungsdichten	
Quantitative Aspekte des Nord-Süd-Konfliktes	
2.4.1 Überleitung, einige grundsätzliche Bemerkungen	75
2.4.2 Bevölkerungsdichte im internationalen Vergleich	76
(Bezugsjahr 1975)	
2.4.3 Angaben "Pro-Kopf" und "Pro-km ² " für verschiedene	77
Länder und Regionen der Erde	
2.4.4 Bevölkerungsentwicklungen - Rohstoffverbrauch -	87
Resultierende Aussichten für die Dritte Welt	
3. <u>ZUSAMMENFASSUNG - RÉSUMÉ - SUMMARY</u>	99
4. <u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	102
5. <u>LEBENS LAUF</u>	108

1. VORWORT

Von 1974 bis 1977 fertigte ich eine Dissertation über
"Ansätze zur Standortbestimmung der Umweltproblematik".

Leiter der Arbeit: Prof.Dr.Dr.h.c.M.PRODAN

Korreferent: Prof.Dr. Harald STUMPF, Institut für Theoretische Physik
der Universität Tübingen (Arbeitsschwerpunkt:Hochenergie-Physik)

Die Dissertation reichte ich im Frühjahr 1978 bei der Forstwissenschaft-
lichen Fakultät der Universität Freiburg unter dem Dekanat von Prof.Dr.
BRAUN ein.

Tag der Verkündung: 19.6.1978

Das Original der Dissertation liegt bei der Forstwissenschaftlichen Fakul-
tät. Es umfaßt mehr als 700 Seiten. Davon entfallen auf den Haupttext mit
Einleitung und Zusammenfassung 362 Seiten. Dann schließt sich der Material-
anhang und ein Literaturverzeichnis mit mehr als 800 Literaturangaben an.

In der Dissertation habe ich mich bemüht, alle Darlegungen zu begründen,
Aussagemöglichkeiten und Aussagegrenzen von Modellrechnungen aufzuzeigen
und Rechenergebnisse, Tabellen und graphische Darstellungen im einzelnen
zu diskutieren.

Wegen des zu großen Umfanges war es notwendig, in der vorliegenden Kurz-
fassung die Ergebnisse aufzuzeigen.

Prof. PRODAN möchte ich für die Überlassung des Themas und die stete Unter-
stützung durch Rat und Diskussionen danken. Es war für mich lehrreich zu
sehen, wie Prof. PRODAN das Aufgabengebiet der Biometrie vor dem Hintergrund
übergeordneter Gesichtspunkte sieht.

Prof. STUMPF danke ich dafür, daß er sich die Mühe machte, die so umfang-
reiche Dissertation für das Korreferat ganz durchzuarbeiten.

Prof. STUMPF hat sich in ökologischen Fragen sehr engagiert (s. Literatur-
verzeichnis). Sein Buch "Leben und Überleben - Einführung in die Zivilisations-
ökologie" ist ein wichtiger Beitrag zu einer Gesamtschau der zivilisationsöko-
logischen Situation der Bundesrepublik Deutschland.

Meiner Frau Roswitha danke ich ganz herzlich für die maschinenschriftliche
Fertigstellung der Dissertation und dieser Arbeit.

2. EINLEITUNG

- 1) Der 1968 gegründete "Club of Rome" prägte den Begriff "The Predicament of Mankind" (17), frei übersetzt "Die prekäre Lage der Menschheit". Darunter ist die Gesamtheit der großen Gegenwarts- und Zukunftsprobleme zu verstehen, wie Bevölkerungswachstum, Umweltkrise, Rohstoff- bzw. Energieverknappung, Nord-Süd-Konflikt, etc. zu verstehen. Ein wesentliches Kennzeichen hierbei ist, daß es sich nicht um verschiedene, voneinander isolierte Probleme handelt, sondern daß die Dinge auf eine sehr komplexe Weise miteinander zusammenhängen (E.PESTEL, 1971) (40).

Der erwähnte Club of Rome war der Initiator für vier Studien:

(J.W. FORRESTER, 1971; D. MEADOWS, 1972; M. MESAROVIC/E. PESTEL, 1974; D. GABOR, u.a., 1976),

die eine große Menge an Faktenmaterial in einem systemanalytischen Computer- bzw. Welt-Modell verarbeitet haben. So wurden Ansätze geschaffen, um die Zukunftsaussichten der Menschheit modellmäßig durchzusimulieren.

- 2) Die erwähnten Studien - insbesondere die von D. MEADOWS (1972) - haben weltweit ein sehr lebhaftes Echo und viele Diskussionen hervorgerufen (48, 49). Aus diesen Diskussionen resultieren u.a. die Fragen:

- Bis zu welchem Grad waren die Ergebnisse der genannten Studien wirklich neu?
- Hätte man die Dinge in ihren wesentlichen Zügen nicht schon vorher wissen können?
- Hätte man die Erkenntnisse nicht auch mit einfacheren Mitteln erhalten können?
- Besteht nicht die Gefahr, daß man Erkenntnisse erst dann bzw. nur dann "glaubt", wenn sie aus einem Groß-Computer kommen?

- 3) Kann man die Umwelt- und Überlebenskrise der Menschheit charakterisieren durch einfache, charakteristische und aufschlußreiche Parameter, Formeln, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten?

Diese Frage behandelte bereits Ende der 60er Jahre der Schweizer Ernst BASLER. Er hat seine Überlegungen in einer Vorlesung mit dem Titel "Engineering Strategy" als Gastprofessor am MIT (Massachusetts Institute of Technology) im Akademischen Jahr 1969/70 vorgetragen.

Es ist das Verdienst von Ernst BASLER (1973, 1974), mit relativ einfachen und elementaren mathematischen Methoden, nämlich mit Exponentialfunktionen, Potenz- und Logarithmus - sowie Differential- und Integral-Rechnung sehr viel Aufschlußreiches zum Gesamtverständnis der Umweltkrise beigetragen zu haben. Hierbei wurden bereits viele wesentlichen Problemzusammenhänge klar, die später durch die Studien des Club of Rome erhärtet bzw. bestätigt wurden.

Die Modellrechnungen von E. BASLER haben zwar den Nachteil, daß sie keinen so hohen Grad von Komplexität erreichen und keine so hohe Datenfülle verwenden wie die oben erwähnten Computer-Rechnungen, dafür haben sie aber den Vorteil, vergleichsweise einfach, direkt und unmittelbar durchschaubar zu sein und somit eine hohe Überzeugungskraft zu haben.

Ähnliche mathematische Überlegungen wurden von W. BRAUNBECK (1973) veröffentlicht (6).

- 4) Die Umweltkrise ist u.a. durch zwei Faktoren belastet:
einerseits fehlt es auf den verschiedensten Gebieten wie Physik, Chemie, Biologie, Forstwissenschaft, Landschaftsökologie, Bodenkunde, Limnologie, etc. an ausreichenden wissenschaftlichen, umweltbezogenen Daten und Fakten;
andererseits erreicht die bereits veröffentlichte Umweltschutzliteratur bereits einen solchen Umfang, daß niemand mehr den Überblick über das Ganze hat.

Die zum Thema "Umweltschutz" geradezu gigantische Fülle von Literatur ist jedoch nicht an einem Ort, sondern in den verschiedensten Fakultäts-, Instituts-, Abteilungs- und Seminar-Bibliotheken zu finden. Viele naturwissenschaftliche Informationen findet man in geisteswissenschaftlichen Bibliotheken etc.. Veröffentlichungen, die sachlich sehr eng miteinander zusammenhängen, sind häufig räumlich sehr weit verstreut und z.T. sehr schwer auffindbar.

Die heterogene - oft verwirrende - Literatur-Situation ist charakteristisch für die Situation der Umweltforschung schlechthin.

Forstpräsident F. LAMERDIN sagte 1976 in einem Interview mit der Allgemeinen Forstzeitschrift (H. 16/17, 1976) zum Themenkomplex "Wald, Umweltschutz und forstwissenschaftliche Forschung":

Allgemein wird die mangelnde Koordination der mit ökologischen Fragen befaßten Personenkreise wie Geologen, Bodenkundler, Zoologen, Botaniker, Hydrologen, Klimatologen, Hygieniker, Naturschützer, Landschaftsplaner, Forstwirte, Landwirte beklagt; ihre unterschiedlichen Auffassungen zu den grundlegenden Fragen werden beanstandet."

Die Notwendigkeit der interdisziplinären Forschung bzw. der Koordination und Zusammenarbeit verschiedener umweltrelevanter Disziplinen unterliegt keinem Zweifel.

Daraus ergibt sich die Frage:

Ist es möglich, nach ganz bestimmten Gesichtspunkten und Schwerpunkten einen konkreten Beitrag zu einer interdisziplinären Gesamtschau der Ökokrise zu leisten?

- 5) Zu den wichtigsten Problemen interdisziplinärer Umweltforschung gehört die Quantifizierung, die beispielsweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Schwerpunktprogramm ausgewiesen wurde (s. SPEIDEL, 61).

In dem vorerwähnten Schwerpunktheft der AFZ (H. 16/17, 1976) zum Thema "Umweltforschung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg" spielen Quantifizierungsprobleme eine ganz wesentliche Rolle.

- 6) Quantifizierungsprobleme zum ökonomisch-ökologisch-forstwissenschaftlichen Grenzbereich, zu Fragen der Belastung der Landschaft und zu Fragen der Verknappung des Bodens bzw. des Lebensraumes sind seit langem Gegenstand der Forschung der Abteilung Forstliche Biometrie des Institutes für Forstliche Ertragskunde der Universität Freiburg (s. PRODAN 1969, 1969, 1970, 1976; PABST 1969, 1969, 1971, 1974; KRAHL 1974, 1976, 1976; HOLLÄNDER 1978).

Es lag deshalb nahe, in dieser Abteilung in einer eigenen Arbeit einen besonderen Bezug zu einigen grundsätzlichen und weltweiten ökologischen Zusammenhängen, sowie zu den Studien des Club of Rome herzustellen.

- Die Biometrie befaßt sich u.a. mit Wachstums- und Zuwachsfunktionen bzw. mit exponentiellem, logistischem etc. Wachstum. Der Schritt zum Begriff des exponentiellen Wachstums in den Studien des Club of Rome war deshalb naheliegend.
- Auch die Methoden der Quantifizierung bzw. der mathematischen Modellrechnungen von E. BASLER fallen in das Arbeitsgebiet der Biometrie.

- 7) Aus den genannten sechs Punkten (1) - (6), resultieren daher die Fragestellungen dieser Arbeit:

- vor welchem ökologischen Hintergrund ist die Arbeit der Abteilung für Forstliche Biometrie bzw. des Arbeitskreises für Forstliche Biometrie zu sehen?
- Vor welchem Hintergrund ist überhaupt die Umweltproblematik zu sehen?
- Welche konkreten Beiträge zu einer Gesamtschau der Ökokrise lassen sich aus der verwirrend großen Literatur-Fülle der verschiedenen Bibliotheken der Universität Freiburg erstellen?

- Was läßt sich aus der Perspektive der Biometrie bzw. aus der Perspektive mathematischer Überlegungen und Modell-Rechnungen zum grundsätzlichen Verständnis der Umwelt- und Überlebenskrise aussagen bzw.
- welcher Erkenntnisgewinn zum Thema "Ökokrise" resultiert aus einer systematischen Diskussion der mathematischen Eigenschaften von Exponentialfunktionen?

Aus diesen Fragestellungen entstand die vorliegende Arbeit mit dem Thema:

"Ansätze zur Standortbestimmung der Umweltproblematik".

Einem komplexen Problem kann nur innerhalb eines breiten Rahmens der richtige Standort zugewiesen werden. Deshalb sollen hier sowohl breite als auch grundsätzliche Perspektiven der Umweltproblematik aufgezeigt werden.

Dabei bezieht sich "breit" auf Konkretes, nach klaren Problem-Schwerpunkten gezielt zusammengetragenes Faktenmaterial.

Begriffe wie "Umweltproblematik" und "Ökokrise" umfassen

- im engeren Sinne die Beeinträchtigung von Wasser, Luft, Boden- und Landschaft
- im weiteren Sinne auch Problemkomplexe wie Bevölkerungswachstum, Rohstoffverknappung und Nord-Süd-Konflikt.

Bedingt durch die Fragestellungen ist es in dieser Arbeit sehr häufig erforderlich, die Begriffe "Umweltproblematik" und "Ökokrise" im weiteren Sinne zu gebrauchen.

2.1. KAPITEL I

Langzeitaspekte der Umweltproblematik

2.1.1 Einige allgemeine Vorbemerkungen.

Die 1972 erschienene Studie "Die Grenzen des Wachstums" von D. MEADOWS enthält zu Anfang eine Abbildung, die auch an den Anfang der hier vorliegenden Arbeit gesetzt werden soll: Abb. 1 (s. folgende Seite 8).

Dabei sollen die Situation und die Aussichten der Menschheit sowohl aus einer sehr engen als auch einer sehr breiten Perspektive gesehen werden. Es handelt sich hierbei um die Perspektiven des Raumes und der Zeit.

In Kapitel I wird die Perspektive der Zeit ("Langzeitaspekte der Umweltproblematik") behandelt.

In den Kapiteln II und IV wird dargelegt, daß durch das rasche Wachstum der Weltbevölkerung der für den einzelnen Menschen zur Verfügung stehende Lebensraum zunehmend knapp wird.

Schlußfolgerungen aus dem Verlauf der Exponentialfunktion werden in Kapitel III behandelt.

Die Frage der Belastungsdichte eines Landes oder einer Landschaft und die Belastungsdichte verschiedener Länder und Regionen der Erde werden in Kapitel IV untersucht.

Aus den Phänomenen

"Raumverknappung - Bodenverknappung - lokale und globale Belastung durch Umweltschadstoffe - zivilisatorisch ökologische Belastungsdichte"

resultieren die Fragen:

- Welche Rolle spielt die zivilisatorisch-ökologische Belastungsdichte der Bundesrepublik Deutschland im internationalen Vergleich?

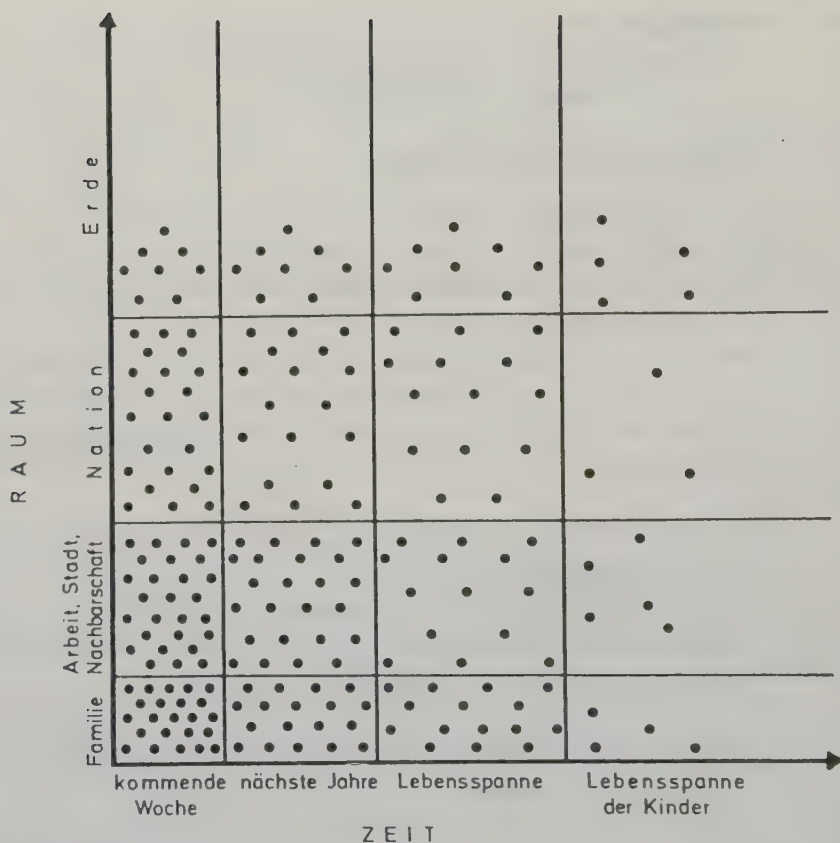


Abb. 1 : Aussichten der Menschheit

Obwohl die Aussichten der Weltbevölkerung in Zeit und Raum sehr unterschiedlich sind, hat jede menschliche Sorge in diesem Koordinatensystem einen Platz. Die meisten Menschen können sich nur um Dinge kümmern, die ihre Familie und ihre unmittelbaren Freunde in naher Zukunft betreffen. Nur wenige denken weit voraus in die Zukunft von einem globalen Gesichtspunkt aus. (Quelle: D. MEADOWS, 1972 (39))

- Können sich so kleine Länder wie die Bundesrepublik Deutschland oder Japan bezüglich der wirtschaftlichen Aktivitäten mit Großmächten wie z.B. USA vergleichen?

Diese Fragen sind bedeutsam für die Landschaftsökologie, die Landesplanung bzw. die Raumordnung (Beispiel: Frage der Ansiedlung neuer Industrieprojekte, Kernkraftwerke im Oberrheintal und die entsprechende Folgeindustrie).

2.1.2 Die gegenwärtige Ökokrise vor dem zeitlichen Hintergrund der Erd- und Evolutionsgeschichte.

Evolutionsgeschichtliche Ausgangsüberlegungen liefern den wohl breitesten Horizont zur Standortsbestimmung der Umweltproblematik. Um die intensive Dramatik der gegenwärtigen Umweltkrise erfassen zu können, ist es notwendig, in den Kategorien von Jahrmillionen und Jahrmilliarden zu denken.

Dazu müssen die zeitlichen Größenordnungen

- der Erd- und Evolutionsgeschichte
 - der Menschheitsgeschichte
 - der gegenwärtigen Ökokrise
- begriffen werden.

Hier aber entsteht eine große Schwierigkeit: Es ist aus vielen Gründen (s. Abb. 1, S. 8) fast unmöglich, in evolutionsgeschichtlichen Zeiträumen zu denken, oder sie sich anschaulich vorzustellen. Eine Jahrmillion unterscheidet sich für das menschliche Zeitgefühl kaum von einer Jahrmilliarde oder 100.000 Jahren

E. BASLER(1973, 1974, (4, 5)) machte den Vorschlag, die zeitlichen Größenordnungen in einem Zeitraffer darzustellen. (Der nachfolgende Zeitraffer unterscheidet sich vom BASLER'schen Zeitraffer.)

Vor ca. 4,5 Milliarden Jahren entstand die Erde.

Vor ca. 3 Milliarden Jahren entstand das Leben und damit die Evolutionsgeschichte. Für die folgende Darstellung sollen diese 3 Milliarden Jahre verkürzt, d.h. "zeitlich gerafft" werden auf einen für menschliche Begriffe überschaubaren Zeitraum von 50 Jahren. Die Ereignisse während der 3 Milliarden Jahre bis zu Jetztzeit sollen in dem Zeitraffer maßstabgerecht dargestellt werden. (s. Tab. 1, S. 11)

Nach diesem Zeitraffer entstand vor 50 Jahren das Leben und damit die Evolutionsgeschichte. Das Leben entwickelte sich aus einfachen zu immer komplizierteren Formen und es entstand eine große Vielfalt von Pflanzen und Tierarten.

"Das Leben tritt auf der Erde in einer ungeheuren Mannigfaltigkeit auf. Über 1,5 Millionen Tierarten und fast 400.000 Pflanzenarten sind beschrieben..." (G. OSCHKE, 1973 (52)). Dabei gab es auch "tote Äste und Unvollkommenheiten" in der Evolutionsgeschichte: So haben sich beispielsweise die Dinosaurier als evolutionsgeschichtliche "Modeerscheinungen" nicht lange durchsetzen können. Interessant in dieser Zeitrafferbetrachtung ist, was sich innerhalb des letzten Jahrzehntes abgespielt hat:

Vor 7 Jahren kamen die Wirbeltiere, vor 3 Jahren die Säugetiere. Vor 9 Tagen entstand ein neuer Lebenstyp, der Mensch und seit 14,6 Std. gibt es den homo sapiens. Vor etwa 1 1/2 Stunden ging die letzte Eiszeit zuende, die Menschheitsgeschichte dauert erst 3/4 Stunden und unsere Zeitrechnung seit Christi-Geburt ist erst 1/4 Std. alt.

Die industrielle Revolution (eingeleitet durch die Erfindung der Dampfmaschine, des mechanischen Webstuhles und der Elektrizität) und die moderne Nationalökonomie (A. SMITH, D. RICARDO und T.R. MALTHUS) veränderten vor 1-2 Minuten unser Weltbild.

Entstehung bzw. Ereignis	Zeit (Jahre)	Promille	Zeit im Zeitraffer
Leben	3 Mrd	1000	50 Jahre
Wirbeltiere	450 Mio	150	7,5 Jahre
Säugetiere	200 Mio	66	3,3 Jahre
Mensch	1,5 Mio	0,5	9 Tage
Homo sapiens	100 000	0,033	14,6 h
Ende der Eiszeit	10 000	0,0033	1,4 h
Christi Geburt	1976	0,0006	17 min
"Die großen Neuerungen":	ca. 200	ca.	ca.
Industrielle Re- volution + moderne Nationalökonomie		0,00006	1,75 min
1. Erdölbohrung	117	0,000039	1,0 min
Erfindung des Automobils	90	0,000030	47,3 sec
Ende des 2. Welt- krieges	30	0,00001	15 sec
Gegenwart (1976)	jetzt	0,0	jetzt
Jahr 2000	24	0,000008	13 sec
Jahr 2100	124	0,00004	65 sec
Dauer eines Legis- laturperiode	4	0,0000013	2,1 sec

Tab. 1 : Daten zur Evolutions- und Menschheitsgeschichte
im Normal- sowie im Zeitraffermaßstab

Die 2. Spalte beinhaltet Zeitangaben, und zwar die zeitlichen Abstände zum Jahr 1976. Die 4. Spalte hat all diese Zeitangaben maßstabsgerecht "zusammengerafft", und zwar die 3 Mrd. Jahre Evolutionsgeschichte auf einen für menschliche Begriffe überschaubaren Zeitraum von 50 Jahren. Die 3. Spalte ist eine Art "Umrechnungshilfe": Die Promille-Angaben beziehen sich in gleicher Weise auf die Zeiträume der 2. und der 4. Spalte (11).

Die Nationalökonomie betrachtete das in einem unvorstellbar langen Zeitraum entstandene Evolutionsgeschehen als selbstverständlichen Besitz zum jederzeitigen "sofortigen Verbrauch". Die natürlichen Güter unseres Planeten wurden als so selbstverständlich angesehen, daß es niemand für notwendig hielt, ihren Wert zu quantifizieren. (9. K.W. KAPP, 1971)

Unsere augenblickliche Situation formulierte K.M. MEYER-ABICH (44)) sehr treffend, wenn er sagt, Wirtschaft und Technik benehmen sich im Raumschiff Erde wie in einem "Selbstbedienungsladen ohne Kasse". Dort ist alles gratis bis auf die Mühe des Aufsuchens der Ware und des Transports.

Genau so verhält sich der Mensch gegenüber den Rohstofflagern der Erde.

Ziemlich genau vor einer Minute war die erste Erdölbohrung, vor knapp 50 Sekunden wurde das Automobil, einer der wichtigsten Ölverbraucher, erfunden. Erdöl enthält chemisch gebundene Sonnenenergie.

Es hat sich im Verlauf etwa der letzten 8 Jahre gebildet, und es wird derzeit - mit zunehmender Geschwindigkeit - verbraucht: Was sich innerhalb von 8 Jahren gebildet hat, wird in diesem Augenblick innerhalb von Sekunden, ja, von Sekundenbruchteilen aufgebraucht. Die menschliche Zivilisation ist wie eine Stichflamme die urplötzlich kommt und alles blitzschnell verfeuert. Die Ölvorrate unseres Planeten werden schätzungsweise in etwa 12 Sekunden erschöpft sein. Was ist - an der Entstehungszeit gemessen - die Behauptung wert, es sei möglich, durch neue Funde oder durch Verbesserung der Techniken die Verbrauchszeit ein paar Sekunden hinauszuschieben (vgl. Kapitel III).

Vor 2 Sekunden erschreckte die sog. "MEADOWS-Studie" "Die Grenzen des Wachstums" die Welt. Diese Studie bezieht sich auf das Faktum, daß der Mensch Werte seines Planeten, die im Verlauf von 50 Jahren entstanden sind, (vergleichbar dem oben erwähnten Erdölverbrauch)

in Sekunden, ja, in Sekundenbruchteilen aufzehrt bzw. zerstört.

Sie führt aus, daß die Wachstumsprozesse (Bevölkerungs- und Industriewachstum, Wachstum des Rohstoffverbrauchs, der Umweltverschmutzung etc.), die seit vielen Sekunden zu beobachten sind, innerhalb der nächsten 30 - 60 Sekunden zu einem weltweiten Kollaps führen müssen. Es müßte dann mit einer unermesslichen Katastrophe, einem Sterben und einem infernaln Dahinsiechen (Hungerkatastrophen) gerechnet werden.

Über die "MEADOWS-Studie" wurde und wird immer noch heftig diskutiert. Die Optimisten verweisen darauf, daß der menschliche Erfindergeist besonders in Notzeiten in den letzten Sekunden immer Wege zur Lösung der anstehenden Umweltprobleme aufgezeigt habe. Sicher ist aber, daß alles Wissen nicht ausreicht, wenn es nicht auf der Verantwortung für die Zukunft basiert. Zum Wissen muß die Bereitschaft kommen, Opfer zu bringen. Da aber der Mensch zur Ungeduld neigt, ist er nur bereit - wenn überhaupt - Opfer zu bringen, deren Früchte sofort sichtbar werden. Ein Politiker kann unbequeme und unpopuläre Maßnahmen nur durchsetzen, wenn Aussicht besteht, daß sie möglichst sofort auf alle Fälle aber noch während seiner Amtszeit zum Erfolg führen. Bei der Frage der sog. politischen Durchsetzbarkeit des Umweltschutzes spielt der kurze Zeithorizont eine große Rolle: Dieser Zeithorizont heißt "Legislaturperiode", sie beträgt zwei Sekunden.

Hier soll die Zeitrafferbetrachtung, die im nächsten Kapitel zur Illustration des Bevölkerungswachstums nochmals angeführt wird, abgebrochen werden.

Die vom Menschen verursachten Umwelt-Veränderungen werden im Kapitel III beschrieben. Sie sollen hier nur stichwortartig angeführt werden:

- Die Eutrophierung der Seen
 - Die Beeinträchtigung der Ozonschicht
 - Die Erschöpfung der Rohstoffvorräte
 - Die Verstärkung des atmosphärischen Treibhauseffektes durch Kohlendioxid aus Verbrennungsprozessen
 - Das Wachstum der Erzeugung und des Verbrauches von Energie.
- Zur Ergänzung sollen ^{die} auf der nächsten Seite stehenden Abbildungen (Abb. 2 und 3) dienen:

Diese Abbildungen zeigen:

Der Mensch breitet sich in der Biosphäre exponentiell aus (Bevölkerungsexplosion). Er führt einen "Ausbeutungs-Krieg gegen die Erde" (s. H. GRUHL, 1975 (21)).

Die Natur unterliegt dabei hoffnungslos. Die Zahl der ausgestorbenen Tierarten wächst exponentiell. Dies bedeutet eine irreversible Verarmung der Biosphäre.

Andererseits wächst die Zahl der gegenüber Pestiziden resistenten Schadorganismen - anscheinend - ebenfalls exponentiell.

2.1.3 Das Beispiel der fossilen Brennstoffe

Besonders konkret lassen sich

- Langzeitaspekte der Erdgeschichte
 - Kurzzeitaspekte menschlichen Handelns
 - Langzeitaspekte resultierender Zukunftsaussichten am Beispiel der fossilen Brennstoffe
- Kohle
 - Erdöl
 - Erdgas
- darlegen.

Es handelt sich hierbei um energiereiche Substanzen, Energie, die letztlich von der Sonne kommt: Durch den biologischen Prozeß der Photosynthese (Assimilation, biologische Primärproduktion) wurde diese Sonnenenergie chemisch fixiert. Verschiedene chemische

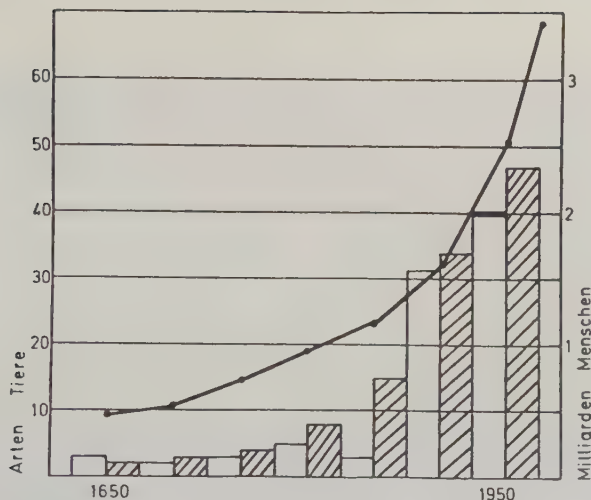


Abb. 2 : Die Beziehung zwischen der Bevölkerungsexplosion und der Zahl ausgestorbener Tiere (Quelle: UMWELT 2000, 1973 (71))

Schwarze Linie^w : Bevölkerungszunahme zwischen 1650 und 1950 (in Milliarden)
 Weiße Blöcke : Ausgestorbene Säugetiere
 Gestreifte Blöcke : Ausgerottete Vogelarten

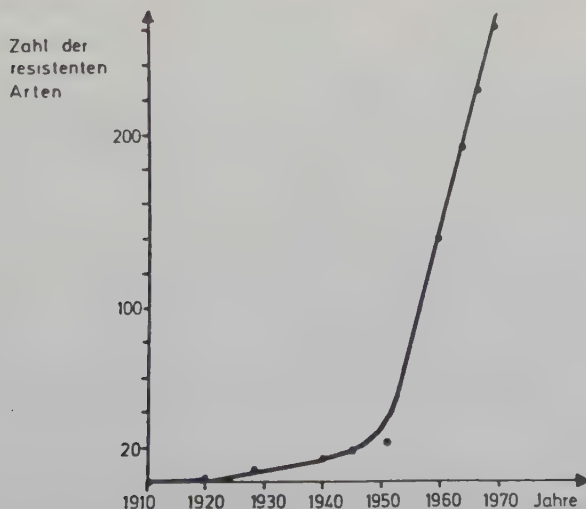


Abb. 3 : Entwicklung der Resistenz von Schadorganismen gegenüber den meisten derzeit bekannten Pestiziden (Quelle: K. EGGER, u.a., 1974 (9))

Umwandlungen spielten insbesondere bei der Erdölbildung eine Rolle (11).

Die Bildung fossiler Brennstoffe - diese stellen einen riesigen Speicher von Sonnenenergie dar - nahm geologische Zeiträume in Anspruch.

"Wir brauchen diesen insgesamt 300 - 500 Millionen Jahre alten Speicher jetzt in wenigen Jahrhunderten auf, in einem Jahr die Speicherung ... von 500.000 Jahren..." (H. FLOHN, 1973 (15)). Dies besagt, daß täglich das Ergebnis von mehr als 1.300 Jahren Erdgeschichte verbraucht wird (11).

Das bedeutet, daß fossile Brennstoffe, die in 2000 Jahren Erdgeschichte - ein Zeitraum, der unserer Zeitrechnung entspricht - entstanden sind, in weniger als 1 1/2 Tagen verfeuert werden (21).

Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Erdöl:

"Rund 500 Millionen Jahre waren nötig, damit sich rund 500 Milliarden Tonnen Erdöl bilden konnten (davon gelten heute knapp 100 Milliarden Tonnen als: sichere, abbaubare Erdölvorräte (21); vgl. Kapitel III. Allein im Jahre 1973 wurde demnach das Ergebnis von 2.800.000 Jahren verbrannt." (21)(46).

Eine Umrechnung der Werte zeigt, daß täglich Naturprodukte von 7000 - 8000 Jahren Erdgeschichte verbraucht werden.

Die sicheren Weltvorräte an Mineralöl (knapp 100 Mrd. Tonnen (46)) sind so groß wie das Volumen eines Würfels mit einer Kantenlänge von knapp 4 1/2 km. Hiervon zehrt die Menschheit, und zwar immer schneller. Jährlich wird von dem genannten "Erdöl-Würfel" ein Teilwürfel von knapp 1 1/2 km Kantenlänge verbraucht, jede Stunde ein Teilwürfel von 70 m Kantenlänge, jede Sekunde ein Teilwürfel mit ca. 1 1/2 m Kantenlänge.

Jetzige Generationen können noch erleben, wie der Mensch das Erdöl, die einmalige "Ernte der Jahrmillionen" (G. GRUHL, 1975 (21)) verbraucht.

Erdöl hat sich nicht nur in der erdgeschichtlichen Vergangenheit gebildet, sondern es entsteht auch heute noch (21 , 46). Entscheidend aber ist, daß heute das Öl um ein unendlich vielfaches schneller verbraucht wird, als es sich gebildet hat.

Die Betrachtungen berühren aber keineswegs nur die Vergangenheit (Öl-Entstehung) und die Gegenwart (Öl-Verbrauch), sondern auch die Perspektive der Zukunft: Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wird Kohlendioxid (CO_2) an die Atmosphäre abgegeben. CO_2 ist ein infrarotaktives Gas, d.h. indem es im Bereich der terrestrischen Infrarotstrahlung absorbierend wirkt, beeinträchtigt es den Strahlungs- bzw. Energie-Haushalt der Erdatmosphäre ("Treibhaus-Effekt", "Glashaus-Effekt"). Dies führt primär zu einer Erwärmung, die Gesamtheit aller direkten und indirekten Folgen (Rückkopplungen) dieses Vorganges kann jedoch heute noch nicht voll überblickt werden. Zu dieser Thematik existiert eine umfangreiche Literatur (z.B.: (21, 15, 16)). Einigkeit besteht jedoch heute - zumindest weitgehend - darüber, daß das Problem des steigenden atmosphärischen CO_2 -Gehaltes ein großes Bedrohungspotential für die Zukunft der Menschheit darstellt (Möglichkeit einer folgenschweren Klimaänderung).

Chr. JUNGE hat 1975 (29) darauf hingewiesen, daß das Kohlendioxid der Atmosphäre mit dem um einen Faktor 60 größeren CO_2 -Gehalt der Weltmeere (neutral gelöstes CO_2 und karbonatische Ionen) zusammen gesehen werden muß. Weil "die Atmosphäre... also ein relativ kleines Anhängsel des Reservoirs" (34) der Weltmeere bildet, ist es nicht unrealistisch anzunehmen, daß die Weltmeere das anthropogen freigesetzte CO_2 weitestgehend "wegfangen" können. Aber: "Die natürlichen Regelmechanismen innerhalb des Systems Atmosphäre-Ozean arbeiten... viel zu langsam für die "plötzliche" menschliche Störung..." (36).

Hier ist das Nebeneinander oder besser das Gegeneinander von Kurzzeit-Phänomen (anthropogene CO_2 -Freisetzung) und Langzeit-Phänomen (Aufnahme des CO_2 durch die Weltmeere) für menschliches Handeln charakteristisch.

Das Beispiel des Erdöls ist in einer geradezu einmaligen Weise typisch und charakteristisch für die verschiedensten Aspekte gegenwärtiger Krisenerscheinungen:

Erdöl ist ein Beispiel für einen natürlichen Rohstoff, speziell ein Beispiel für einen Primärenergieträger. Die Verbrennung von Öl bzw. von Benzin im Individualverkehr bedeutet Luftverschmutzung, Autoabgase etc..

Der Problemkomplex "Öl" steht stellvertretend für

- Rohstoffkrise
 - Energiekrise
 - Ölkrise (1973) und "autofreie Sonntage"
 - Luftverschmutzung
- etc..

2.1.4 Das forstwirtschaftliche Prinzip der Nachhaltigkeit und die ökologische Langzeit-Verantwortung

In äußerst langen erdgeschichtlichen Zeiträumen entstand die biologische bzw. ökologische Vielfalt unseres Planeten, und es ist höchste Zeit, daß dem Mensch bewußt wird, daß er in der Gegenwart den Reichtum nicht verbrauchen bzw. zerstören, und die daraus resultierenden Schäden bzw. Risiken der Zukunft überlassen kann.

Die Ausrottung der Tierarten wurde bereits kurz angedeutet. "Jährlich stirbt eine Tierart aus...

In den letzten 300 Jahren wurden mehr als 200 Säugetier- und Vogelarten ausgerottet. Mehrere hundert weitere Tierarten sind heute unmittelbar vom Aussterben bedroht."

(52) (Vgl. die Abb. 2, S. 15).

Mit dem Aussterben jeder Tierart wird das Ergebnis von Jahrhunderttausenden oder Jahrmillionen Evolutionsgeschichte zunichte gemacht, und nicht selten wird dies als Preis für den Fortschritt der Menschheitsgeschichte in Kauf genommen.

Daß dies keineswegs immer und überall der Fall ist, zeigt das Prinzip der Nachhaltigkeit in der mitteleuropäischen Forstwirtschaft.

G. SPEIDEL (1971) definiert:

"Nachhaltigkeit ist die Fähigkeit des Forstbetriebes, dauernd und optimal Holzerträge, Infrastrukturleistungen und sonstige Güter zum Nutzen der gegenwärtigen und künftiger Generationen hervorzu-
bringen.

Jeder Betrieb mit langfristigem Anlagevermögen hat a priori die Absicht, fortdauernd zu existieren und seine Leistungsfähigkeit zu erhalten. Das gilt in besonders hohem Maße für Forstbetriebe, die durch nachhaltige Bewirtschaftung nicht nur ihre eigene Existenz, sondern auch die dauernde Wirksamkeit der Infrastrukturleistungen (Sozialfunktionen) garantieren sollen. Der Betrieb ist zur Sicherung des Daseins bereit, auf hohe Gewinne zu verzichten und Investitionen zur Abwendung künftiger Gefahren zu machen. Das Gewinnstreben wird offensichtlich durch das Postulat "Erhaltung der Leistungsfähigkeit und Überleben" korrigiert..."

Das Prinzip der Nachhaltigkeit ist also das Prinzip der Verantwortlichkeit unter Langzeit-Aspekten.

In "Einleitung - Begründung - Zielsetzung" wurde dargelegt, wie wichtig es ist, interdisziplinär zu denken. Deshalb ist es notwendig, das Nachhaltigkeitsprinzip der Forstwissenschaft, d.h. die ökologische Langzeit-Verantwortung auch von anderen Disziplinen und Lebensbereichen zu fordern.

PRODAN (1976) schrieb:

"Das Nachhaltigkeitsprinzip ist für uns so selbstverständlich, daß wir übersehen, wie wichtig es ist, seine Beachtung für alle Aspekte des gesellschaftlichen Lebens zu fordern. Wir müssen unsere Vorstellungen über Nachhaltigkeit, Langfristigkeit und Konservervation in alle öffentlichen Bereiche, vor allem in die Wirtschaft und Politik eintragen."

Das Prinzip der Nachhaltigkeit wird in den außereuropäischen Ländern, die keine geregelte Forstwirtschaft haben, nicht beachtet.

Der Raubbau an den tropischen Regenwäldern ist ein Beweis dafür.

"In der gesamten Tropenzone greift die Degradation der Biosphäre wie eine bösartige Krankheit um sich. Der Mensch zerstört die natürlichen Ökosysteme in besorgniserregendem Umfang. Die Folge sind zunehmender Verlust an Masse, Energie und Leistungsfähigkeit. Kriterien der allgemeinen Degradation sind starke Bodenerosion und hohe Abflüsse an Nährstoffen und Oberflächenwasser. Die Endglieder der Entwicklung sind gestörte Lebensgemeinschaften von Mensch und Tier mit geringer Produktivität und niedrigem Nutzungswert für den Menschen..." (E.F. BRÜNIG, 1974).

In einer Publikation in der AFZ (1976 (1)) mit dem Titel:

"Werden die tropischen Regenwälder das 20. Jahrhundert überdauern?" heißt es:

"Der ausgedehnteste tropische Regenwald der Gegenwart liegt im Amazonas-Gebiet, weitere nennenswerte Flächen gibt es noch in West- und Zentralafrika und in Südostasien, insbesondere Indonesien. Außer gewöhnlicher Reichtum und eine nirgends sonst anzutreffende Vielfalt von Fauna und Flora sind Kennzeichen dieses Waldtyps. Das gilt für die Zahl der Baumarten und den sonstigen Pflanzenwuchs, für Säugetiere, Vögel und Insekten gleichermaßen. Beispiele: Im bewaldeten Gebiet von Panama leben doppelt so viele Säugetierarten wie in einem gleichgroßen Gebiet im Osten der USA; in Costa Rica wurde in

einem nur 600 ha großen Naturschutzpark die für unsere Breiten unvorstellbare Zahl von 221 Vogelarten ermittelt. Neben dem Klima scheint auch das Alter dieser Wälder, das man auf bis zu 70 Mio. Jahre schätzt, Grund für diese Vielfalt zu sein."

Die Geschwindigkeit, mit der der Mensch den tropischen Regenwald zerstört, ist so groß, daß es der ökologischen Forschung möglicherweise nicht mehr gelingen wird, ihn noch rechtzeitig hinreichend wissenschaftlich zu untersuchen:

"Die übereilige Zerstörung der natürlichen Wälder birgt die große Gefahr, daß wertvolle Pflanzenarten und Genotypen unentdeckt vernichtet werden." (E.F. BRÜNIG, 1974)

"Tausende von Arten verschwinden, bevor auch nur ein Aspekt ihrer Biologie untersucht worden ist," schreiben A. GOMEZ-POMPA, C. VAZQUEZ-YANES und S. GUEVARA 1973 in einer Veröffentlichung mit dem Titel "Der tropische Regenwald: Von endgültiger Vernichtung bedroht" (19a); die Autoren sprechen pauschal von dem "Unvermögen des Regenwaldes, sich bei der heute gegebenen Nutzungsweise zu regenerieren".

Diese wenigen Zitate zum Thema "tropischer Regenwald" zeigen auf, daß, wenn Lebensräume von sehr hoher ökologischer Vielfalt mit ungeheurer Geschwindigkeit irreversibel zerstört werden, zwangsläufig die Verarmung der Biosphäre folgt.

M. PRODAN (1976) schreibt in "Verpflichtung der Forstwirtschaft und der Forstwissenschaften":

"Wir exportieren unsere bewährten forstlichen Rezepte und Techniken in alle Welt. Dabei müssen wir mit Betrübnis feststellen, daß in den meisten Waldflächen der Erde immer noch Raubbau betrieben und überhaupt keine Nachhaltigkeit beachtet wird.

Für viele - bei uns ausgebildete - Forstspezialisten ist das Nachhaltigkeitsprinzip zu einer akademisch-rhetorischen Frage geworden. Wenn diese Spezialisten in den Ländern der Dritten Welt tätig sind, erfahren sie fast ausnahmslos, daß einflußreiche Firmen und Konzerne -

die die internationalen und nationalen Entwicklungshilfeorganisationen unterwandern - die forsttechnische Beratungsarbeit ausnützen, um den Raubbau mit allen Folgeschäden der Landschaftszerstörung (JACOBY) rentabler durchzuführen...

Wir sind verpflichtet, in der Lehre nicht nur die Belange unserer engsten Umgebung zu vertreten, sondern unseren Absolventen auch die Augen zu öffnen für die Mißstände in den Entwicklungsländern und in der internationalen Entwicklungspolitik."

2.2 KAPITEL II

Das Bevölkerungswachstum

Das Wachstum der Weltbevölkerung ist hinsichtlich ökologisch relevanter Veränderungen auf unserem Planeten von großer Bedeutung.

P. SITTE (1976 (60)) sagt von der "Ökokrise":

"Ihr Quellübel ist die Überbevölkerung."

Es ist deshalb notwendig, auf das Bevölkerungswachstum als Beispiel exponentiellen Wachstums einzugehen.

Exponentielles Wachstum ist gekennzeichnet durch die Parameter "Zuwachsrates" und "Verdopplungszeit". Die Zahl 70 dividiert durch die jährliche, prozentuale Zuwachsrates, ergibt näherungsweise die Verdopplungszeit in Jahren. Je größer die Zuwachsrates ist, desto kleiner ist also die Verdopplungszeit. Eine konstante Zuwachsrates bedeutet eine konstante Verdopplungszeit bzw. ein exponentielles Wachstum. Nimmt die Zuwachsrates zu, dann wächst die betrachtete Größe schneller als exponentiell, man spricht hier von einem superexponentiellen Wachstum (6).

Für die Weltbevölkerung waren in den letzten Jahren jährliche Zuwachsraten von ca. 2 %, d.h. eine Verdoppelungszeit von ca. 35 Jahren zu verzeichnen.

In der Vergangenheit wurde das Wachstum der Weltbevölkerung immer mehr oder weniger unterschätzt, d.h. die wirklichen Bevölkerungszahlen lagen höher als die entsprechenden Zahlen vorangegangener Prognosen (6, 5). In der Literatur (5, 6, 39) wird wiederholt die Auffassung vertreten, daß das Bevölkerungswachstum in der Vergangenheit ein superexponentielles Wachstum war, d.h. die Zuwachsrate nahm zu und die Verdoppelungszeit verkürzte sich. Nach neueren UNO-Angaben scheint dieser Trend aber - zumindest kurzfristig - gebrochen zu sein⁺⁾ .

Ein zukünftiges Wachstum von jährlich ca. 2 % mag auf den ersten Blick harmlos erscheinen, der Zeitraffer korrigiert jedoch diesen Irrtum. Die Autoren P.R. EHRLICH und A.H. EHRLICH (1972 (10)) bzw. P.R. EHRLICH, A.H. EHRLICH und J.P. HOLDREN (1975 (11)) haben Zahlen über die Bevölkerungsentwicklung der Vergangenheit aufgezeigt, diese Zahlen wurden umgerechnet und in den Zeitraffer eingesetzt. Im Zeitraffer wurden - wie im vorangegangenen Kapitel - 3 Milliarden Jahre Evolutionsgeschichte - zeitlich maßstabgerecht - zusammengerafft auf den für menschliche Begriffe überschaubaren Zeitraum von 50 Jahren:

⁺⁾ Nach Angaben der Ausgabe 1974 des Statistischen Jahrbuches der UNO betrug die jährliche Zuwachsrate der Weltbevölkerung 2,1 % (77), und nach Angaben der entsprechenden Ausgabe 1975 (76) betrug sie 1,9 %. In beiden Ausgaben variieren aber die Bevölkerungszahlen früherer Jahrgänge, etwa vom Jahr 1950 an. Die Ausgabe 1975 gibt für die weiter zurückliegenden Jahrgänge etwas höhere Bevölkerungszahlen, und für die neueren Jahrgänge etwas tiefere Bevölkerungszahlen an als die Ausgabe 1974. Dadurch entsteht rechnerisch eine kleinere Zuwachsrate der Weltbevölkerung.

Vor 50 Jahren entstand das Leben. Vor etwa einem halben Tag kam der homo sapiens. Vor ca. 1 1/2 Stunden gab es 5 Mio. Menschen, vor knapp drei Minuten hat sich die Menschheit bereits ver Hundertfacht: Es gab 500 Mio. Menschen. Vor einer Minute war die Menschheit auf eine Milliarde angestiegen, vor 23 Sekunden gab es bereits 2 Mrd. Menschen.

In diesem Moment beträgt die Weltbevölkerung 4 Mrd. Menschen, in 18 Sekunden werden es 8 Mrd. Menschen sein. In drei Minuten gibt es 4.000 Mrd. Menschen, also tausend mal so viel Menschen wie heute.

Und dann geht es (theoretisch) so weiter:

In weniger als 5 Minuten wird auf jedem Quadratmeter des Festlandes ein Mensch stehen, d.h. für jeden Menschen gibt es dann nur noch gerade einen "Stehplatz". In weniger als 15 Minuten wird die gesamte Menschenmasse genau so groß sein wie die Masse des Planeten Erde (d.h. die Planetenmasse müßte sich in Menschenmasse umgewandelt haben). In weniger als 20 Minuten ist die gesamte Menschenmasse so groß wie die Masse unseres Sonnensystems, und in etwa einer halben Stunde ist die gesamte Menschenmasse so groß wie die Masse unserer Milchstraße...

Kurz: Vor 50 Jahren entstand das Leben und in diesem Augenblick ist der Mensch bereits dabei, die Massenverhältnisse im Weltraum grundlegend durcheinander zu bringen.

So weit der Zeitraffer.

"Die Welt hat Krebs,
und der Krebs ist der Mensch."
(S. GREGG, 1955 (71)).

Die im Zeitraffer zum Ausdruck kommenden Menschheitsperspektiven sollen keine Prognosen oder Prophezeiungen sein. Es soll lediglich illustriert werden, wohin exponentielles Wachstum langfristig führen muß.

Abb. 4 (S. 26) veranschaulicht das Wachstum der Weltbevölkerung. Nach Ablauf jeder Verdopplungszeit halbiert sich der für jeden einzelnen Menschen zur Verfügung stehende Lebensraum (s. Abb. 5, S. 27). Die Lebensraum-Verknappung bedeutet u.a. eine Verknappung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und somit - trotz Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität - eine Verknappung des Nahrungsangebotes (s. Abb. 6 (28).

D. MEADOWS (1972 (39)), der Autor dieser Abbildung, sagt dazu: "daß selbst unter der optimistischen Annahme, daß alles potentiell bebaubare Land auf der Erdoberfläche landwirtschaftlich genutzt würde, schon vor dem Jahr 2000 eine hoffnungslose Landknappheit auftreten muß, wenn das Bevölkerungswachstum wie heute anhält."

Nun gibt es verschiedene Vorstellungen und sogar konkrete Pläne dafür, daß die Menschen dem zu klein werdenden Planeten Erde durch Weltraumfahrt bzw. "Weltraum-Besiedlung" (50 , 33) ausweichen. Es werden jedoch erhebliche Zweifel angemeldet, ob diese Projekte so rechtzeitig und so sicher verwirklicht werden können, daß von einer Lösung der anstehenden Probleme gesprochen werden kann (54).

E. BASLER (1973 (4)) hat unter der Annahme, jeder Planet unseres Sonnensystems sei genau so bewohnbar wie die Erde, dargelegt, daß für eine exponentiell wachsende Menschheit bereits innerhalb weniger Generationen das ganze Sonnensystem zu klein geworden ist.

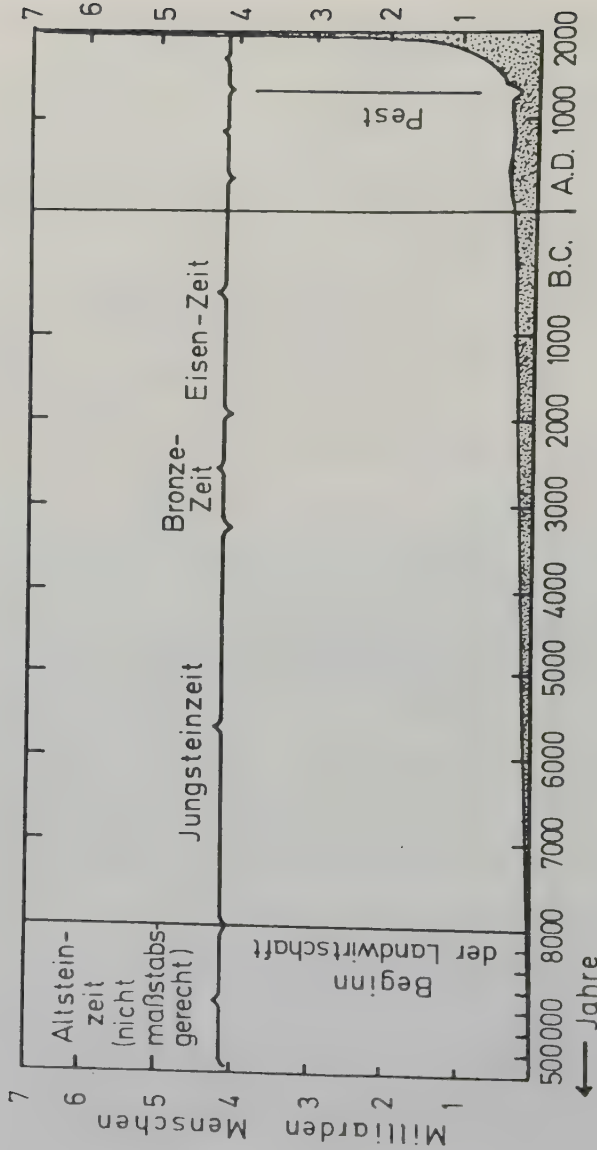
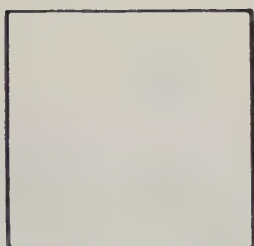
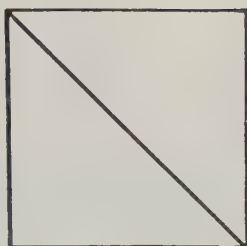


Abb. 4 : Wachstum der Weltbevölkerung in den letzten 500 000 Jahren

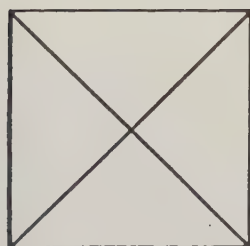
Wenn die Altsteinzeit maßstabsgerecht gezeichnet wäre, würde ihre Abzisse ungefähr 6 Meter nach links zu verlängern sein.
(Quelle: EHRLICH/EHRLICH/HOLDREN, 1973/75)



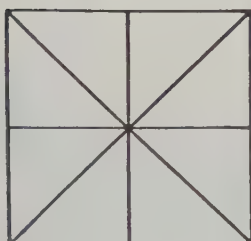
7000 v. Chr.



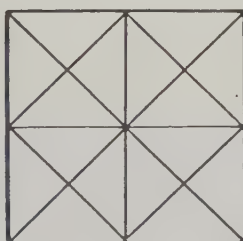
4500 v. Chr.



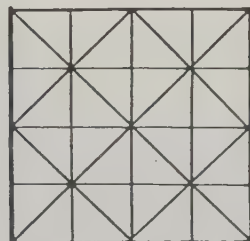
2500 v. Chr.



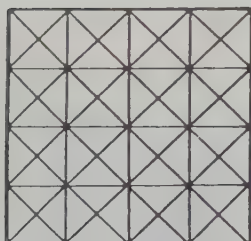
1000 v. Chr.



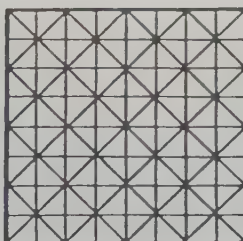
0



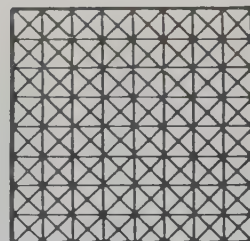
900 n. Chr.



1700 n. Chr.



1850 n. Chr.



1950 n. Chr.

Abb. ⁵ : Bildliche Darstellung der Verknappung unseres irdischen Lebensraumes

Während 7000 Jahre vor Christus noch rund 15 km^2 Landoberfläche pro Person entfiel, sind es heute noch $0,043 \text{ km}^2$. Hierbei ist der für die Umweltbelastung und Verengung des Lebensraumes so wichtige, pro Person zunehmende Güter- und Raumbedarf noch nicht berücksichtigt.

(Quelle: E. BASLER, 1973 (⁴));

ferner: E. BASLER, 1974 (⁵))

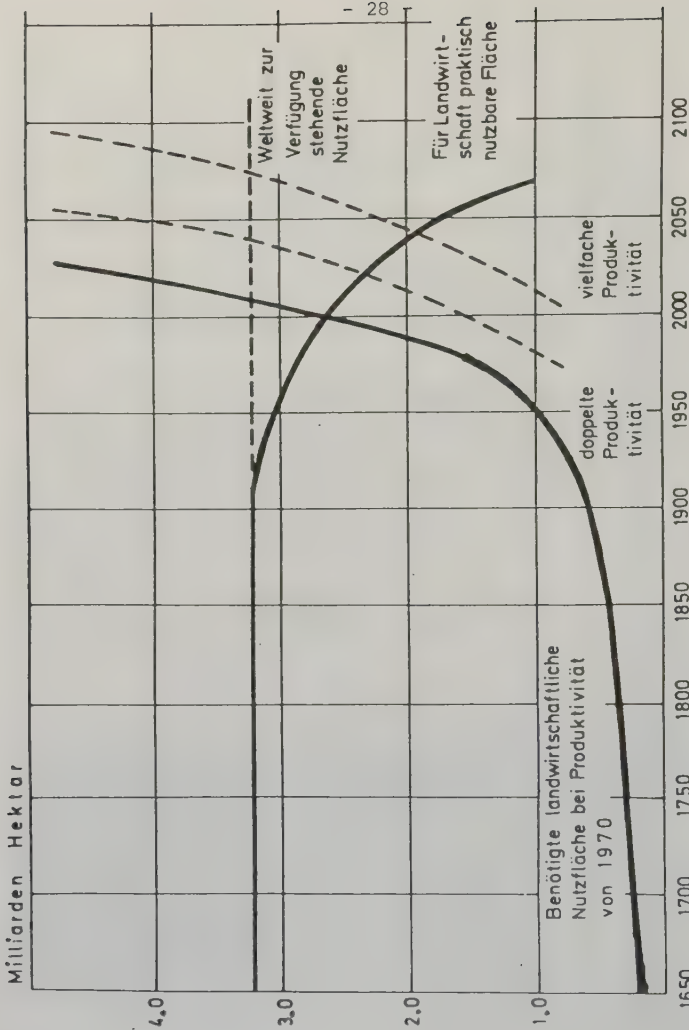


Abb. 6 : Landwirtschaftlich nutzbares Land
Erläuterung hierzu: Nächste Seite
(Quelle: D. MEADOWS, 1972 ())

Erläuterung zu Abb. 6 :

Auf der Erde gibt es etwa 3,2 Milliarden Hektar nutzbares Land. Jeder Mensch benötigt bei der gegenwärtigen Produktionsrate etwa 0,4 Hektar zu seiner Ernährung. Der Kurvenverlauf spiegelt deshalb den Verlauf des Bevölkerungswachstums wider. Dünn ausgezogen sind die Linien des hochgerechneten Landbedarfs nach 1970 unter der Voraussetzung, daß die Bevölkerung sich entsprechend der gegenwärtigen Wachstumsrate weiter vermehrt. Die Gesamtfläche nutzbaren Landes sinkt mit wachsender Bevölkerung, Städtebau und Industrialisierung. Die gestrichelten Kurven zeigen den Bedarf an landwirtschaftlich nutzbarem Land, wenn die gegenwärtige Produktivität verdoppelt bzw. vervierfacht wird. (Quelle: D. MEADOWS, 1972 (39)).

2.3 KAPITEL III

Gesetzmäßigkeiten und Mechanismen der Ökokrise

2.3.1 Beispiele wachsender Umweltbeeinträchtigungen

Nach dem Beispiel des Bevölkerungswachstums im KAPITEL II sollten hier weitere Beispiele exponentiellen Wachstums bzw. wachsender Umweltbeeinträchtigungen ausführlich dargelegt werden.

Es gibt aber heute eine äußerst große Fülle von Fachliteratur über allgemeine und spezielle Umweltfragen, und deshalb sollen im folgenden - nur fünf exemplarische Beispiele bedenklicher Umweltbeeinträchtigung angeführt werden.

2.3.1.1 Die Eutrophierung von Seen

Beispiel: Der Bodensee (12 , 47)

H,-J. ELSTER hat 1977 ein Diagramm veröffentlicht, welches veranschaulicht, daß als Ausdruck der Eutrophierung die Phosphat-Konzentration (am Ende der Winterstagnation des Bodensees) in den letzten Jahrzehnten (zumindest näherungsweise) exponentiell gewachsen ist (12). Eine Folge davon ist eine Zunahme der Algen-Menge (s. auch weiter unten)

2.3.1.2 Die Beeinträchtigung der stratosphärischen Ozon-Schicht

(23 , 15 , 16 , 29)

Die stratosphärische Ozon-Schicht (O_3) schützt das Leben auf der Erde vor der lebensfeindlichen, kurzwelligen UV-Strahlung der Sonne. Diese Ozon-Schicht ist gefährdet durch Stickstoff-Oxide, speziell durch NO , sowie durch Chlorfluormethane (CFM, z.B. $CFCl_3$ und CF_2Cl_2 ; Arbeitsmedium in Kühlschränken bzw. Treibgase in Spraydosen). Aus den CFM werden photolytisch Chlor-Atome abgespalten, die - wie die

NO-Moleküle - mit dem Ozon in der Stratosphäre reagieren, was zu einem Verbrauch von Ozon bzw. einer Zerstörung der Ozon-Schicht führt.

Die Produktion von CFM folgt - zumindest bisher - einem exponentiellen Wachstum (15, 29).

2.3.1.3 Erschöpfung der Rohstoffvorräte

Dieses Problem wird am Beispiel der Welt-Erdölvorräte genau konkretisiert. (Ansonsten siehe z.B. W. von ENGELHARDT, 1976 (10)).

2.3.1.4 Verstärkung des Treibhauseffektes der Atmosphäre durch Kohlendioxid (CO_2)

Auf dieses Problem wurde bereits eingegangen. Bezüglich der schwerwiegenden Problematik muß auf die Literatur verwiesen werden (15 , 16 , 23 , 29). D. MEADOWS (1972, (18)) nimmt für die Zunahme der atmosphärischen CO_2 -Konzentration ein exponentielles Wachstum an.

2.3.1.5 Wachstum der Erzeugung und des Verbrauches von Energie

Die Umwelt wird nicht nur bei der Erzeugung, sondern auch beim Verbrauch von Energie beeinträchtigt. Langfristig muß bei einer Steigerung anthropogener Energieumsätze mit einer zunehmenden Beeinträchtigung des Energiehaushaltes der Atmosphäre gerechnet werden (Abwärme, Umwandlung verschiedener Energiearten in Wärme. Entropie-Satz). (K.M.MEYER-ABICH, 1972, 1973, 1973).

D. GABOR u.a. nehmen in ihrem 1976 erschienenen "Tatsachenbericht an den Club of Rome" für den voraussichtlichen globalen Energieverbrauch für die nächsten Jahrzehnte ein exponentielles Wachstum an (19).

Dem exponentiellen Wachstum unterliegen neben diesen noch viele andere Umweltprobleme. Es ist das Verdienst der Studien des Club of Rome, auf dieses Phänomen und seine Gefahren hingewiesen zu haben.

So sagt D. MEADOWS (1972 (39)) zum Thema "Exponentiell zunehmende Umweltverschmutzung":

"Praktisch jeder Schadstoff, dessen Konzentration über eine gewisse Zeit gemessen wurde, scheint exponentiell zuzunehmen."

Dazu kommt: Die Zielvorstellungen der Verantwortlichen in Wirtschaft und Politik sind auf ständige prozentuale Zuwachsraten - und somit auf ein exponentielles Wachstum - der Wirtschaft ausgerichtet. Dafür gibt es verschiedene Begründungen wie z.B.:

- Durch Wachstum lassen sich soziale Verteilungsprobleme gut lösen; Wachstum schafft die Möglichkeit, nicht den Bestand, sondern den Zuwachs neu zu verteilen (18,29).
- Wachstum ermöglicht höhere Steuereinnahmen der öffentlichen Hand; hierdurch können z.B. auch Maßnahmen des Umweltschutzes finanziert werden (Umweltforschung, Bau von Kläranlagen etc.).
- Wachstum sichert Arbeitsplätze und trägt somit dazu bei, den sozialen Frieden zu sichern.

Als Beleg hierfür sei nur auf Veröffentlichungen von zwei namhaften Politikern verwiesen:

- Bundesminister für Wirtschaft H. FRIDERICHs:
Aus gesamtstaatlicher Verantwortung gegen Nullwachstum und Kernenergieverzicht, 1977 (18)
- Bayrischer Staatsminister für Wirtschaft und Verkehr A. JAUMANN:
Nullwachstum ist keine Lösung, 1976 (28).

Am 10. Mai 1967 hat der Bundestag mit Zustimmung aller Parteien (78) ein "Gesetz zur Förderung der Stabilität und des Wachstums der Wirtschaft" beschlossen (78). Hier heißt es in § 1:

"Bund und Länder haben bei ihren wirtschafts- und finanzpolitischen Maßnahmen die Erfordernisse des gesamtwirtschaftlichen Gleichgewichts zu beachten. Die Maßnahmen sind so zu treffen, daß sie im Rahmen der marktwirtschaftlichen Ordnung gleichzeitig zur Stabilität des Preisniveaus, zu einem hohen Beschäftigungsstand und außenwirtschaftlichem Gleichgewicht bei stetigem und angemessenem Wirtschaftswachstum beitragen."

Gefordert werden in gleicher Weise Gleichgewicht, Stabilität und Wachstum. Ob es realistisch ist zu fordern, daß eine Sache sowohl stetig wachsen als auch andererseits ständig stabil bleiben soll, sei dahingestellt.

Hier aber kann der Frage nicht ausgewichen werden: "Wohin führt es eigentlich langfristig, wenn die auf Wachstum ausgerichteten Zielvorstellungen der Verantwortlichen in Wirtschaft und Politik ungehindert realisiert werden?"

2.3.2 Das Gleichnis von der Wasserpflanze im Gartenteich und das gefühlsmäßige lineare Denken des Menschen

Ein gewisses gefühlsmäßiges Denken ("gefühlsmäßiges lineares Denken") kann sehr täuschen und zu einer Verharmlosung des exponentiellen Wachstums führen. Es ist weitgehend die Ursache dafür, daß die Umweltprobleme lange Zeit unterschätzt und so verharmlost wurden.

Dies soll das Gleichnis von der Wasserpflanze im Gartenteich (manche Autoren bringen auch das Bild von der Seerose oder der Lilie) zeigen: In einem Gartenteich steht eine Wasserpflanze (mit Schwimmblättern), die die Eigenschaft hat, jeden Tag auf das Doppelte ihrer Größe zu anzuwachsen (exponentielles Wachstum mit einer Verdopplungszeit von einem Tag). Am 97. Tag ist durch die Pflanze $\frac{1}{8}$ des Teiches bedeckt, am 98. Tag $\frac{1}{4}$, am 99. Tag die Hälfte, und am 100. Tag ist alles bedeckt und das Leben im Teich erstickt.

Dieses Gleichnis zeigt: Ein exponentiell wachsendes Phänomen, das

monatelang harmlos aussah, führt innerhalb weniger Tage zur Katastrophe. Es widerstrebt dem "gefühlsmäßigen linearen Denken"⁺⁾ des Menschen (E. BASLER, 1973, 1974 (4, 5)), einzusehen, daß aus der lang andauernden Unauffälligkeit urplötzlich die Katastrophe entsteht.

Das Beispiel von der Wasserpflanze im Gartenteich ist nur ein Gleichnis, realistischer ist aber das bereits erwähnte Beispiel von der Eutrophierung des Bodensees. In diesem Fall geht es um das Wachstum der Phytoplankton-Menge bzw. der Algen-Zellen pro cm^3 (Zelldichte im Wasser). Nachdem der Bodensee, speziell der Bodensee-Obersee, jahrtausendlang ein oligotropher See war, nahm in den letzten Jahrzehnten die Dichte der Algen-Zellen so rasch zu, daß die dadurch entstandene Gefahr - infolge des gefühlsmäßigen linearen Denkens - einfach für unmöglich gehalten wurde.

Dies erhellt aus einer bereits 1967 erschienen Veröffentlichung des Bodensee-Forschers J. GRIM. Hier heißt es u.a.:

"Die Untersucher in den zwanziger Jahren AUERBACH, MAERKER und SCHMALZ (1926), sprechen bei Dichtewerten von 400 bis 500 Algenzellen/ cm^3 von "ungeheuren Massen", für die Untersucher von 1935 bis 1940 waren Zellmengen von 3000 Zellen/ cm^3 "Dichtehöchstwerte", noch 1950 bis 1952 erregten Höchstdichten aus der Rohrschacher. Bucht mit 6000 Zellen/ cm^3 unser Staunen, dann aber blieben unsere Entwicklungsvorstellungen weit hinter den tatsächlichen Vorgängen zurück. (20)

^{+) Über lineares Wachstum und exponentielles Wachstum s. Abb. 7, S. 36, und Abb. 10, S. 39}

Die extremen Dichten stiegen in der Folgezeit sprunghaft an. 1960 traten erstmals Mengen bis zu 10.000 Zellen auf (Zählgruppe *Stephanodiscus hantzschii* und "kleine Cyclozellen"), 1964 erreichte dieselbe Zählgruppe die 20.000 Zellen/cm³-Grenze. Im Jahre 1965 wurden 30.000 Zellen des kleinen Flagellaten *Rhodomonas lacustris* im cm³ gefunden..."

Unmittelbar danach spricht H. GRIM (1967 (20)) in dieser Veröffentlichung von "astronomischen Höhen" der Algenzellichten.

Ein anderes Beispiel ist die extreme Überschätzung der Möglichkeiten des nordamerikanischen Lebensraumes in der Vergangenheit. Die Einwanderer Amerikas hatten subjektiv das Empfinden, im "Land der unbegrenzten Möglichkeiten" zu leben.

E. BASLER führt hierzu als "klassisches Beispiel" einer gefühlsmäßigen linearen Extrapolation aus der Vergangenheit in die Zukunft ein Zitat von Thomas JEFFERSON an:

In seiner ersten "State of the Union" - Rede sagte Thomas JEFFERSON als neugewählter dritter Präsident der Vereinigten Staaten im Jahre 1800 vor dem Kongreß:

"Wir sind gesegnet mit einem auserwählten Land, das Raum genug hat für unsere Nachfahren bis zur tausendsten Generation... was mehr ist notwendig, um ein glückliches und prosperierendes Volk aus uns zu machen?" (E. BASLER, 1973 (4)).

Der Präsident sprach von 1000 Generationen, aber nicht einmal 100 oder 10 Generationen, sondern nur etwa 6 Generationen später hatten die ökologischen Probleme des Lebensraumes der Vereinigten Staaten ein solches Ausmaß erreicht, daß es zu der bekannten Botschaft zur Lage der Nation des amerikanischen Präsidenten Richard NIXON im Januar 1970 kam. Hier heißt es unter anderem:

"... bedeutet es, daß der Präsident, der im Jahre 1980 hier an dieser Stelle stehen wird, auf ein Jahrzehnt zurückblicken muß, in dem 70 Prozent unserer Bevölkerung in städtischen Ballungsräumen lebten -

im Verkehr steckengeblieben und erstickt im Smog, vergiftet durch Wasser, taub geworden im Lärm und terrorisiert durch Verbrechen? ... Das große Problem der siebziger Jahre lautet: Sollen wir vor unseren Umweltverhältnissen kapitulieren oder sollen wir unseren Frieden mit der Natur machen und mit der Wiedergutmachung der Schäden beginnen, die wir unserer Luft, unserem Boden und unseren Gewässern zugefügt haben? ... Reine Luft, reines Wasser, unberührte, offene Landschaft - das sollte wieder zum angestammten Recht eines jeden Amerikaners werden..." (75).

Die Folge der - dem exponentiellen Wachstum unterliegenden Menschheitsprobleme- dürfen nicht weiter übersehen werden, die Grenzen des Wachstums auf unserem Planeten werden überall sichtbar.

In der Diskussion der mathematischen Eigenschaften von Exponentialfunktionen ist der Anfangsteil einer Exponentialfunktion, in dem die Ordinatenwerte noch recht klein sind nicht bedeutungsvoll, dafür aber der fortgeschrittene Teil umso mehr.

3.3 Mathematische Eigenschaften von Exponentialfunktionen und resultierende praktische Konsequenzen

Qualitativ gelten folgende Definitionen:

- Lineares Wachstum: In gleichen Zeitabschnitten wächst die betrachtete Größe um gleiche absolute Beträge
- Exponentielles Wachstum: In gleichen Zeitabschnitten wächst die betrachtete Größe um gleiche relative Beträge (S. Abb. 7, S. ³⁶)

Die relativen Beträge werden normalerweise in Prozent-Angaben ausgedrückt. Da als Zeitabschnitt (Zeiteinheit) meist das Jahr gewählt wird, ergeben sich jährliche, prozentuale Zuwachsraten.

Von besonderer Bedeutung ist die Zeiteinheit, in der sich die betrachtete Größe verdoppelt (Zuwachs von 100 %), d.h. die Verdopp-

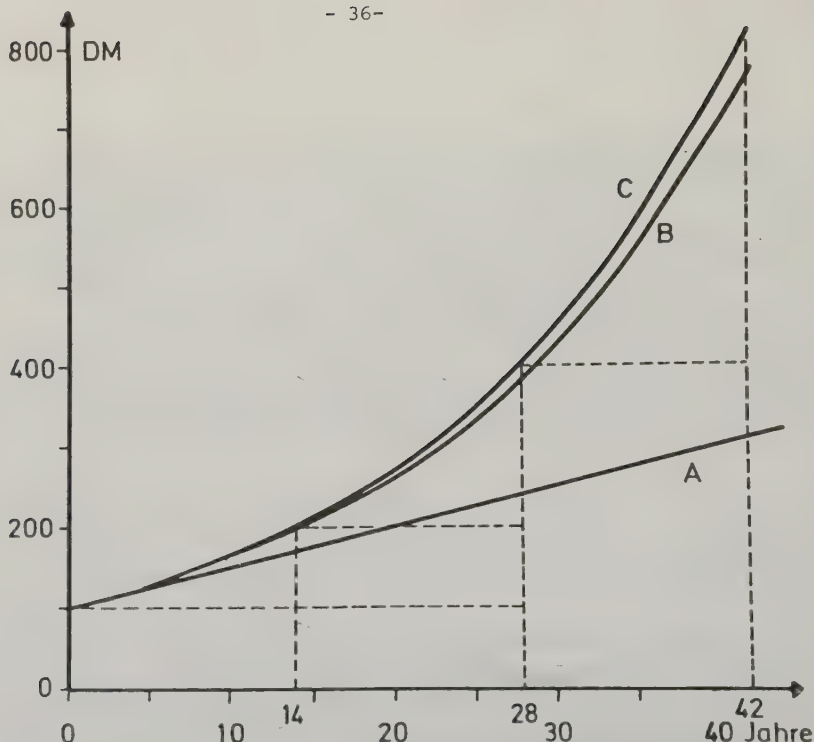


Abb. 7 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 1

Vergleich von linearem und exponentiellem Wachstum

Im Ausgangsjahr mögen sich 100,- DM auf der Bank befinden. Unabhängig von der praktischen Realisierbarkeit möge dieser Betrag - in einem Gedankenexperiment! - nach verschiedenen Gesetzmäßigkeiten anwachsen (d.h. die Zinsen werden stets dem Betrag zugeschlagen):

- A Lineares Wachstum: Die jährliche Verzinsung beträgt 5,- DM (nicht: 5 %!), d.h. jedes Jahr wächst der Betrag um den gleichen Festbetrag von 5,- DM
- B und C: Hier liegt exponentielles Wachstum vor und zwar mit einer 5 %-igen Verzinsung
- B "(Rechen-)Methode der jährlichen Verzinsung"
- C "(Rechen-)Methode der stetigen Verzinsung"

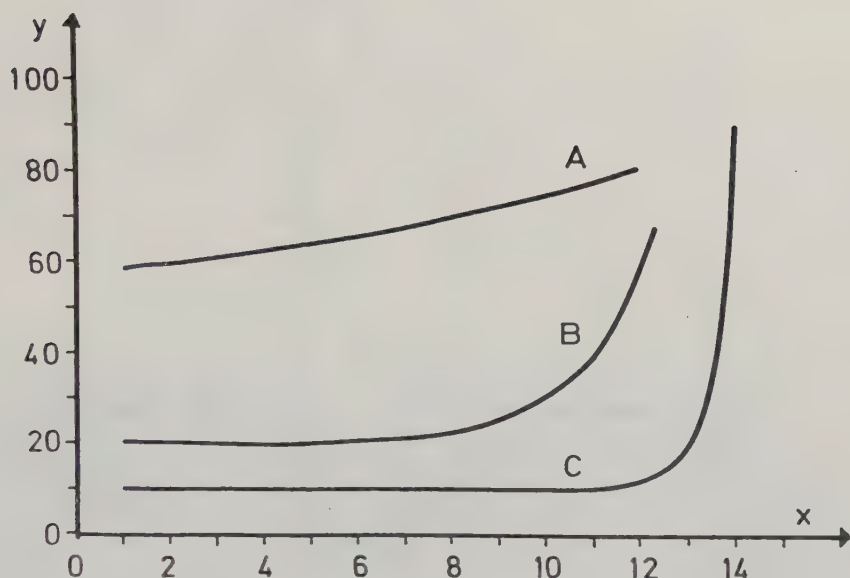


Abb. 8 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 2

Verschiedene Formen von Exponentialfunktionen

Es handelt sich in allen 3 Fällen um mathematisch exakt definierte Funktionen.

Hinweis: Die Kurve C mag auf den ersten Blick als ein einseitig übertriebenes Beispiel einer Exponentialfunktion erscheinen; die Kurve hat jedoch eine bemerkenswerte Ähnlichkeit mit Abb. 4 (S. 26), nämlich der graphischen Darstellung des Bevölkerungswachstums.

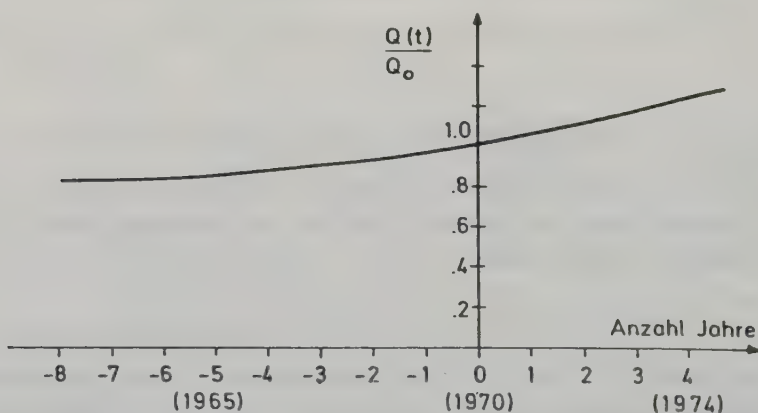
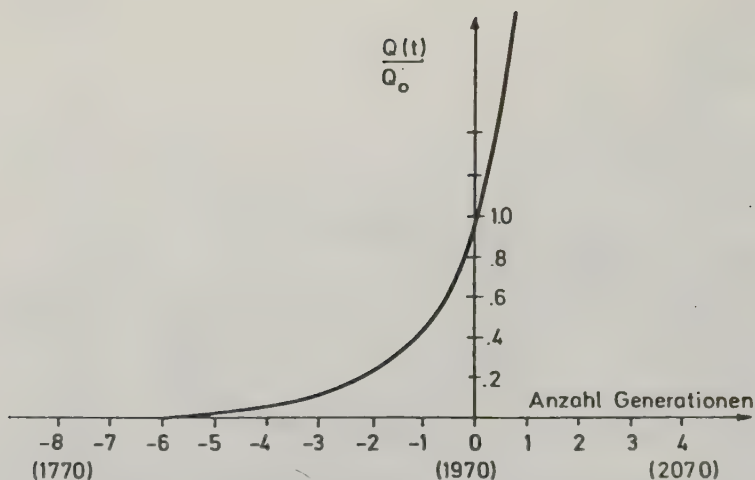


Abb. 9 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 3

Langfristiges Wachstum der Gütermenge und der Umweltbelastung in den hochindustrialisierten Ländern der Welt bei einer mittleren jährlichen Wachstumsrate von 3,3 %. In der unteren Kurve ist das Wachstum über einen kürzeren Ausschnitt von einigen Jahren aufgetragen, in der oberen Kurve über eine längere Zeitdauer von einigen Generationen woraus sich zwei verschiedene Beurteilungen des gleichen Phänomens ergeben können. (Quelle: E. BASLER, 1974 (5) bzw. 1973 (4))

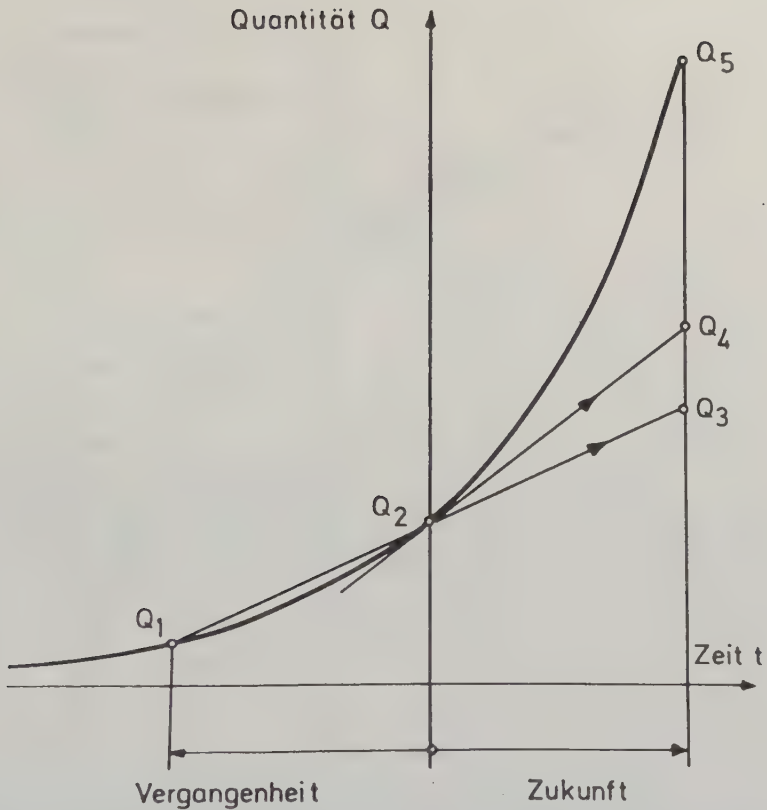


Abb. 10 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 4

Wir extrapolieren eine erfahrene Veränderung von Q_1 auf Q_2 linear in die Zukunft auf einen möglichen Wert von Q_3 . Je länger der Lebensabschnitt unserer Erfahrung ist, um so konservativer wird daher unsere Zukunftsprognose. Die Jugend vermag vielleicht gefühlsmäßig eher die Tangente an die Wachstumskurven im heutigen Zeitpunkt zu verspüren und extrapoliert auf einen künftigen Wert Q_4 . Der richtigere Wert eines exponentiellen Wachstums, Q_5 , läßt sich aber nur mittels mathematischer Modelle ermitteln, was den Nachteil hat, daß er als unglaublich aufgenommen wird.

(Quelle: E. BASLER, 1973 (4))

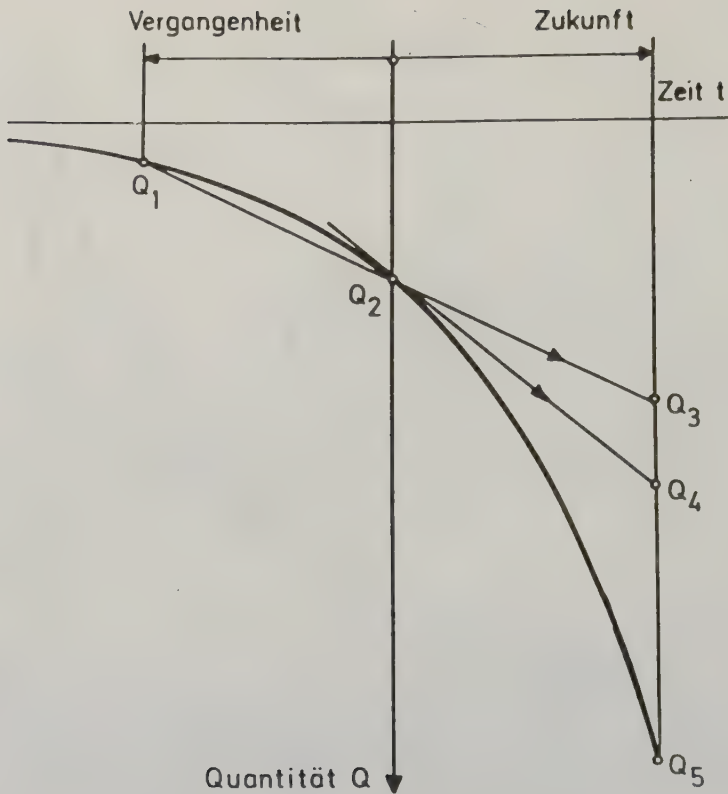


Abb. 11 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 5

(Quelle: H. GRUHL, 1975 (21))

Von H. GRUHL stammt die Idee, die vorangegangene, von E. BASLER stammende Abb. 10 in ihrer Symmetrie abzuändern. Dies kann man folgendermaßen begründen: Einer immer schneller zunehmenden Bedrohung der Umwelt entspricht eine immer schneller abnehmende Umwelt-Qualität.

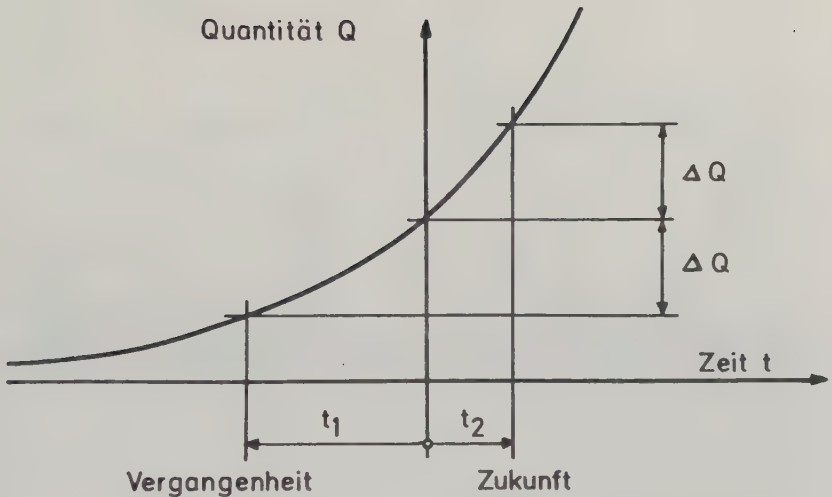


Abb. 12 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 6

Zur "Verkürzung" der Zukunft: Wenn in der Vergangenheit t_1 Jahre erforderlich waren, um einen Zuwachs ΔQ einer bestimmten Wachstumsgröße zu erzielen, wird derselbe Zuwachs in der Zukunft in einer viel kürzeren Zeit t_2 erreicht werden.

(Quelle: E. BASLER, 1973 (4) bzw. 1974 (5))

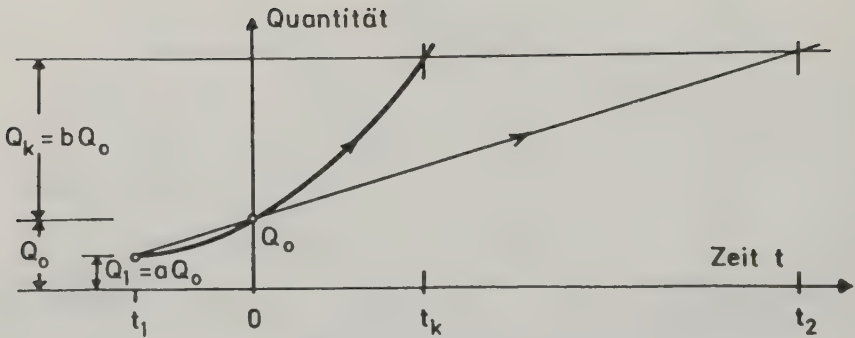


Abb. 13 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 7

Modell zur Bestimmung des Täuschungsfaktors, der sich ergibt, wenn aus dem gegenwärtigen Wert Q_0 und vergangenem Wert Q_1 auf die zukünftige Zeitdauer bis zum Erreichen eines kritischen Grenzwertes geschlossen wird. Die "gefühlsmäßige" lineare Extrapolation führt immer auf viel größere Zeiträume als die mathematisch richtige. Der frühere Wert Q_1 und der noch vorhandene Wert Q_k werden als vielfaches a bzw. b des gegenwärtigen Betrages Q_0 ausgedrückt.

(Quelle: E. BASLER, 1973 (4) bzw. 1974 (5))

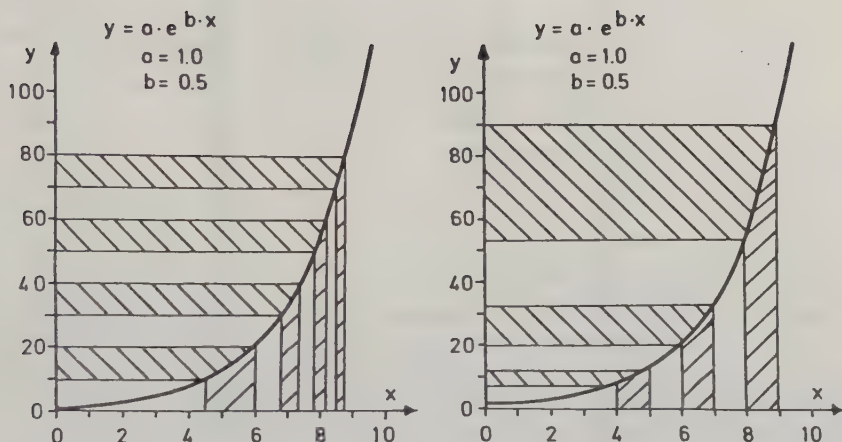


Abb. 14 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 8

Beide Bilder charakterisieren die gleiche Exponentialfunktion, bzw. sie charakterisieren zwei Aspekte des gleichen mathematischen Phänomens:

Im Verlauf des Ansteigens der Kurve (Anwachsen von y und x) entsprechen gleiche Intervalle auf der Ordinaten immer kleiner werdenden Intervallen auf der Abszisse (links) bzw. gleiche Intervalle auf der Abszisse entsprechen immer größer werdenden Intervallen auf der Ordinaten (rechts). Das "Intervall-Verhältnis" (Quotient aus der Größe des Ordinatenintervalles und der Größe des entsprechenden Abszissenintervalles) wird im Verlauf des Kurvenanstiegs immer größer.

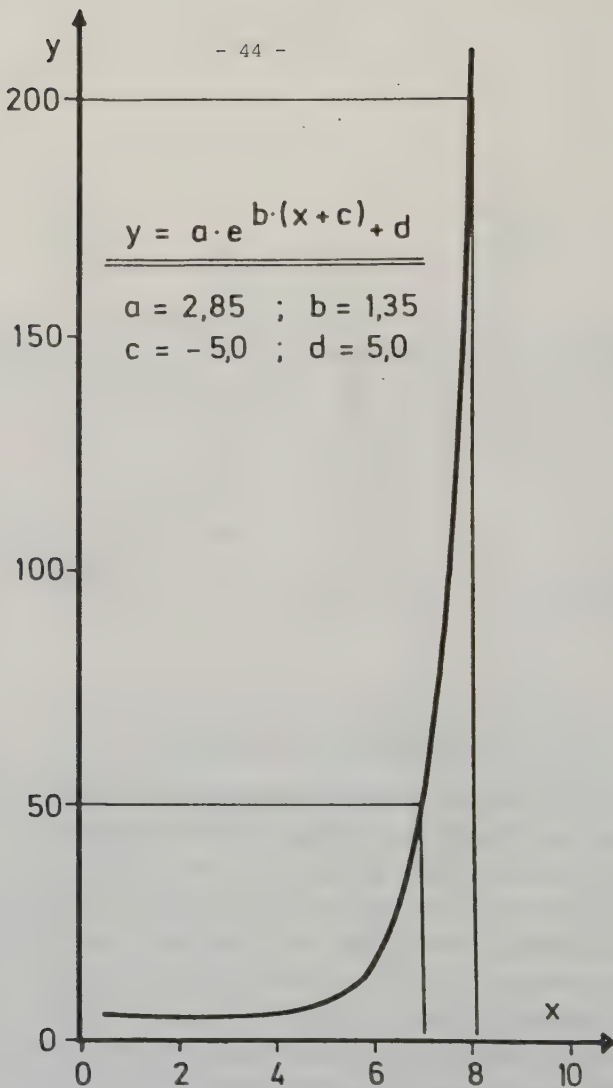


Abb. 15 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 9

Diese Abbildung verdeutlicht in einer sehr markanten Weise eine bereits in der vorigen Abbildung sichtbar gewordene Eigenschaft einer Exponentialfunktion $y = f(x)$: Bei einem großen Wert von x entspricht ein großes Intervall von y einem kleinen Intervall von x .

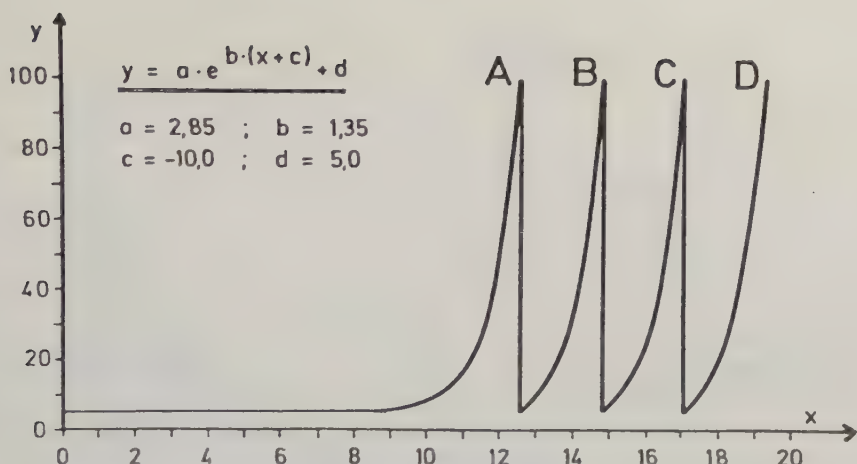


Abb. 16 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 10

Die oben angegebene Funktionsgleichung gilt bis zum ersten Maximalwert der Kurve, dem Punkt A (entsprechend $y = 100$). Von hier an – genauer gesagt: Zwischen A und B – werden dann die Ordinatenwerte um einen Faktor 20 "gestaucht", also um 95 % auf 5 % reduziert (entsprechend einer Multiplikation der y-Werte mit einem Faktor 0,05). Hierbei entsteht zunächst wieder der ursprüngliche Ordinatenwert (also der y-Wert für $x = 0$), der Ordinatenwert wächst jedoch mit wachsendem x wieder an, bei B und C (entsprechend $y = 100$) wird wiederum jeweils eine "Stauchung" um einen Faktor 20 vorgenommen. Im Punkt D ist somit die Kurve insgesamt drei Mal um jeweils einen Faktor 20, also insgesamt um einen Faktor $20 \cdot 20 \cdot 20 = 8000$ "heruntergedrückt" worden. Diesen sehr "drastischen" Veränderungen der Ordinatenwerte zwischen A und D entsprechen Abszissenwerte, die nicht einmal um einen Faktor 2 auseinander liegen (!), d.h. der x-Wert von D ist nicht einmal doppelt so groß wie der x-Wert von A.

Weitere Einzelheiten im Text, siehe auch Abb. 17 Die oben angeführte Funktionsgleichung unterscheidet sich nur durch den Parameter c (entsprechend einer "Verschiebung" der Kurve parallel zur x-Achse) von der Funktionsgleichung der vorangegangenen Abb. 15 Diese Abb. 15 kann also veranschaulichen, wie die Kurve angewachsen wäre, wenn die "Stauchungen" nicht vorgenommen worden wären.

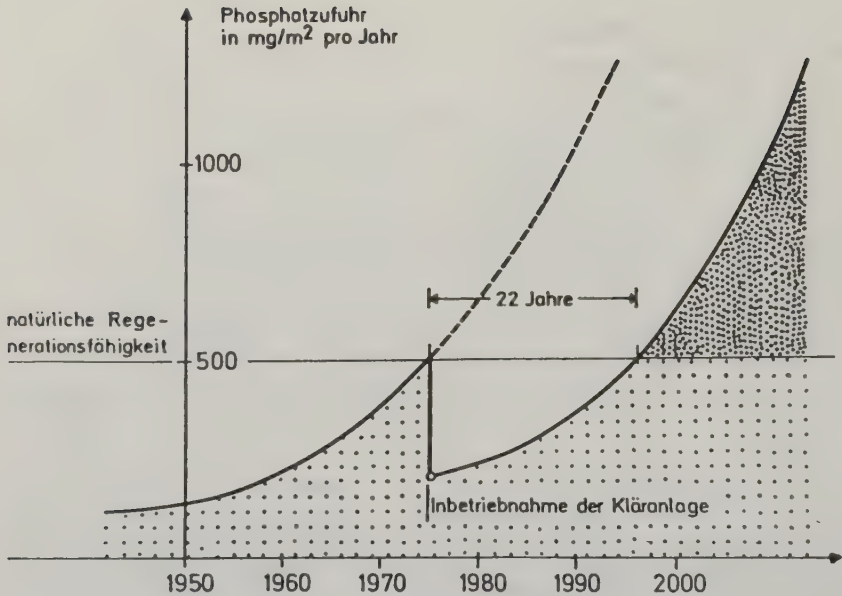


Abb. 17 : Eigenschaften von Exponentialfunktionen 11

Wirkung konventioneller Kläranlagen bei exponentiellem Wachstum der Phosphatzufuhr, dargestellt am Beispiel des Ägerisees. Nachdem die natürliche Selbstreinigungskraft des Ägerisees heute überfordert ist, kann er nur noch durch die Einrichtung einer Kläranlage in gesundem Zustand erhalten werden. Aber auch mit der Kläranlage läßt sich sein Gewässer nur noch rund 22 Jahre reinhalten, wenn das exponentielle Wachstum der Phosphatzufuhr anhält. Spätestens zu diesem Zeitpunkt müßten neue Reinigungsmethoden eingeführt werden, falls es nicht gelingt, die Phosphatfrachten zu verringern.

(Quelle: E. BASLER, 1974 (5))

Hinweis: Diese Abbildung kann gleichzeitig als ganz konkretes Beispiel für die vorangegangene Abb. 16 dienen.

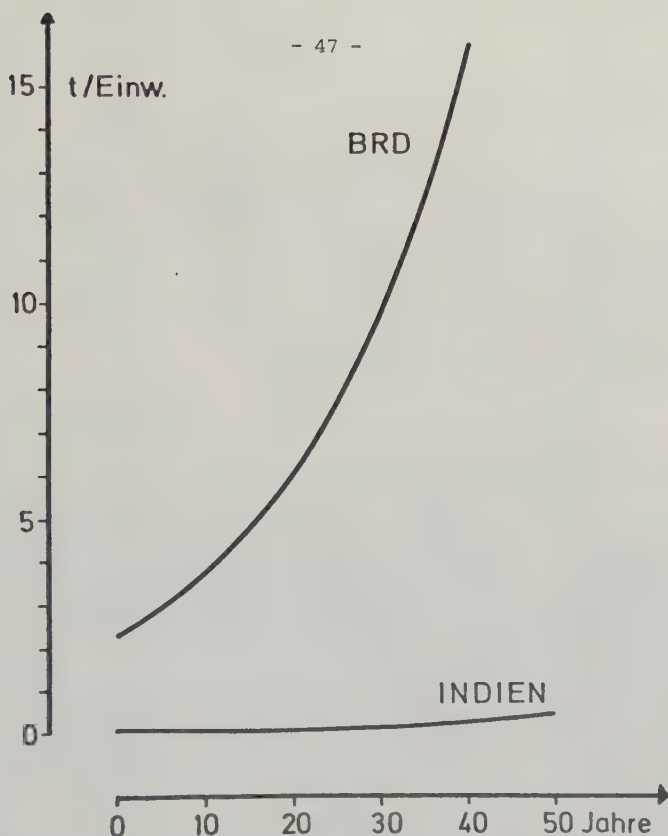


Abb. 18 Eigenschaften von Exponentialfunktionen 12
Wachstum der Differenz zweier exponentiell
wachsender Größen

Wenn von einem bestimmten Zeitpunkt an zwei verschieden große Werte mit der gleichen Zuwachsrates exponentiell anwachsen, dann wächst die Differenz auch exponentiell. Hier angeführtes Beispiel:

Der Pro-Kopf-Verbrauch an Mineralöl betrug 1972 in der BRD 2,28 t (Tonnen) und in Indien 0,035 t. Hier wird angenommen, daß diese Werte jeweils jährlich um 5 % anwachsen. Die exponentiell wachsende Differenz zwischen beiden Werten ist in Abb. 20, S.49 aufgeführt.

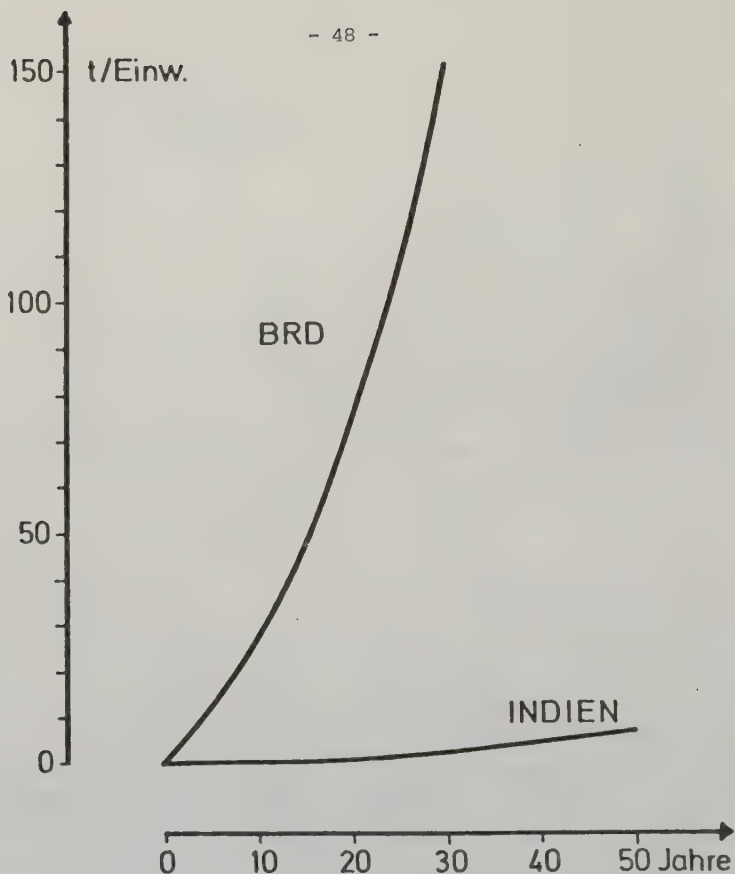


Abb. 19 Eigenschaften von Exponentialfunktionen 13
 Kumulierter Pro-Kopf-Verbrauch an Mineralöl
 in der BRD und in Indien

Dargestellt ist der kumulierte Pro-Kopf-Verbrauch als Funktion der Zeit (Ausgangsjahr: 1972), und zwar für die BRD und für Indien. Diese Abb. gehört zur vorangegangenen Abb. ¹⁸, wo der entsprechende j ä h r l i c h e Pro-Kopf-Verbrauch dargestellt ist (Genaueres: Siehe dort).

In beiden Fällen ist ein 5-%-iges jährliches Wachstum des jährlichen Pro-Kopf-Verbrauches angenommen. Die mit der Zeit wachsende Differenz ist in der folgenden Abb. ^{20, S. 49} dargestellt.

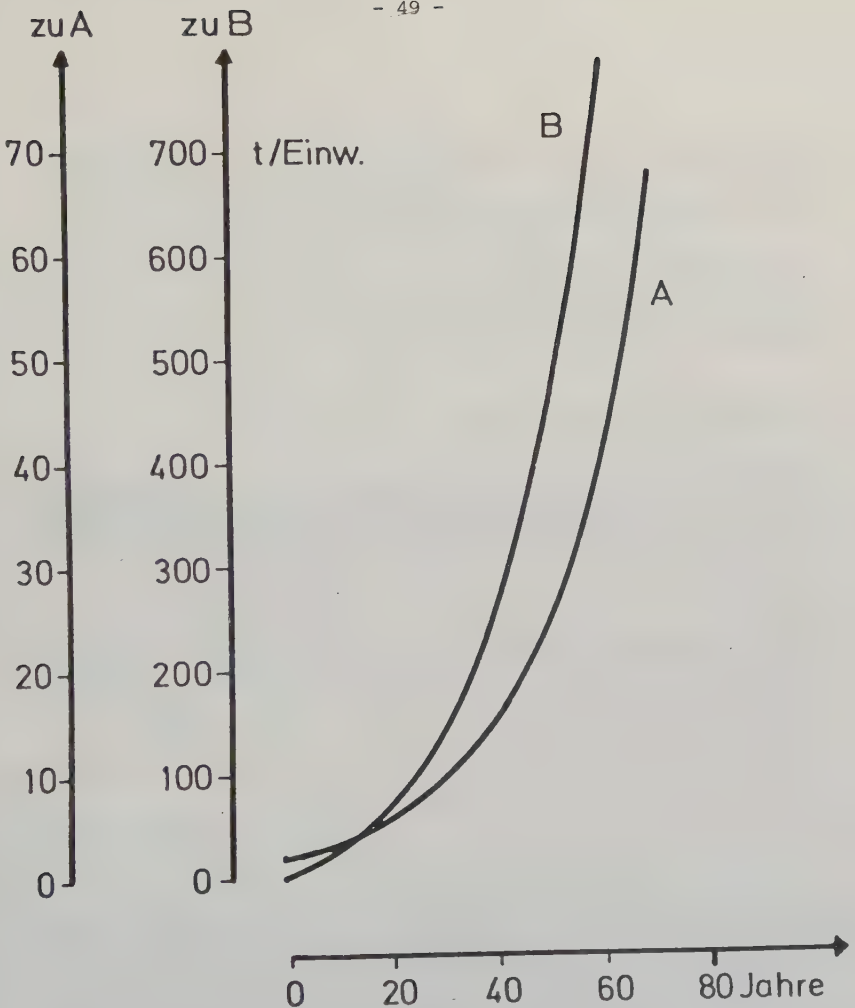


Abb. 20 Eigenschaften von Exponentialfunktionen 14
Die Differenz des Mineralölverbrauches der
beiden vorangegangenen Diagramme
(Abb. 18 und 19) in Abhängigkeit von der Zeit (Ausgangs-
jahr: 1972; Zuwachsrates des jährlichen Verbrauchs :
Jeweils 5 %).

A : Die Differenz zwischen dem jährlichen Pro-Kopf-
Verbrauch in der BRD und dem in Indien

B : Die Differenz zwischen dem kumulierten Pro-Kopf-
Verbrauch in der BRD und dem in Indien

lungszeit. Der Zusammenhang zwischen jährlicher, prozentualer Zuwachsrate und Verdopplungszeit wurde bereits erwähnt (s. auch ⁴).

Bei der mathematischen Theorie der Exponentialfunktionen spielt die Zahl bzw. die Basis "e" eine besondere Rolle. Es gilt die Definitionsgleichung

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2,7182818\dots$$

Die einfachste Form, die abhängige Variable y mit der unabhängigen Variablen x in eine Exponentialfunktion mit der Basis e zu verknüpfen, ist die Form:

$$y = e^x.$$

Diese spezielle Form läßt sich durch die Einführung von Parametern - z.B.: a, b, c, d - verallgemeinern, und zwar durch die mathematische Operation sowohl der Addition als auch der Multiplikation.

Durch Multiplikation, und zwar durch die multiplikative Einführung der Parameter a und b entsteht die allgemeinere Form

$$y = a \cdot e^{b \cdot x}.$$

Durch eine Veränderung der Parameter a und b wird die Form der Kurve (graphische Darstellung der Exponentialfunktion) verändert. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Steigerung der Kurve; dies wird klar, wenn man die Funktion nach x differenziert, also die Ableitung bildet.

Dagegen wird durch Addition, d.h. durch die additive Einführung von Parametern, nicht die Form, sondern die Lage der Kurve im Koordinatensystem beeinflußt. Führt man in diesem Sinne in die obige zweite Gleichung die Parameter c und d ein, dann ergibt sich eine noch allgemeinere Darstellungsart einer Exponentialfunktion:

$$y = a \cdot e^{b(x + c)} + d.$$

Eine Veränderung von c und d führt zu einer Verschiebung der Kurve parallel zur x- bzw. zur y-Achse.

Aus der letzten der drei Gleichungen dieses Einschubes, also der allgemeinsten Darstellungsart erhält man die erste Gleichung und somit die speziellste Darstellungsart zurück, indem man die multiplikativ eingeführten Parameter a und b gleich 1 setzt, und die additiv eingeführten Parameter c und d gleich 0 setzt.

Ausgehend von der einfachsten Form einer Exponentialfunktion

$$y = e^x$$

und y differenziert nach x, resultiert die Ableitung der Funktion, also ein Maß für die Steigung der entsprechenden Kurve:

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{d(e^x)}{dx} = e^x$$

Weitere Ableitungen sind:

$$y'' = \frac{d^2 y}{dx^2} = e^x$$

$$y''' = \frac{d^3 y}{dx^3} e^x \quad \text{usw.}$$

Bei den Ableitungen geht also die Funktion in sich selbst über, sie reproduziert sich. Die Bedeutung dieser Aussage wird besonders anschaulich, wenn x die Zeit darstellt, dann wächst nämlich y als Funktion der Zeit, und zwar exponentiell. Die erste Ableitung der Funktion (y') ist dann die Geschwindigkeit, mit der y anwächst: Die Geschwindigkeit wächst auch exponentiell. Und die zweite Ableitung charakterisiert die Beschleunigung ("die Geschwindigkeit, mit der die Geschwindigkeit wächst"): Auch die Beschleunigung wächst exponentiell. Und von hier an versagt gewissermaßen die Alltagssprache, man könnte sich sprachlich so behelfen: "Die Geschwindigkeit, mit der die Beschleunigung wächst, wächst wiederum exponentiell", usw.

Dieses Gesamt-Phänomen und seine Folgerungen sind gefühlsmäßig nur schwer vorstellbar.

Ähnlich ist der Verlauf einer etwas allgemeineren Form einer Exponentialfunktion.

Die Ableitung der allgemeineren Funktion

$$y = a \cdot e^{b \cdot x}$$

ist:

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{d(a \cdot e^{b \cdot x})}{dx} = a \cdot b \cdot e^{b \cdot x} = b \cdot y$$

Es resultiert im Prinzip das gleiche wie oben:

Die Ableitung der Funktion ist wiederum eine Exponentialfunktion, usw...

Für einen beliebig herausgegriffenen Wert x ist der entsprechende y -Wert (y bzw. y' bzw. y'' bzw. y''' usw.) immer höher als der y -Wert eines kleineren x -Wertes.

Das kann qualitativ so formuliert werden:

Die Kurve steigt ständig, sie fällt nie. Und von jedem beliebigen Punkt der Kurve kann gesagt werden: Noch nie hatte die Funktion einen so hohen Wert, bzw. noch nie hatte die Kurve eine so hohe Steigung.

Diese Sätze sind nach all dem Gesagten im Prinzip sehr trivial, ihr Inhalt spielt jedoch eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung des exponentiellen Wachstums von Umweltproblemen o.ä.

Die Abbildungen 7 - 20 (S. 36ff) stehen unter dem Rahmenthema "Eigenschaften von Exponentialfunktionen" (durchnummeriert von 1 bis 14). Sie sind z.T. der Literatur entnommen (E. BASLER, 1973, 1974) und entsprechend vermerkt. Z.T. sind sie für diese Veröffentlichung stets nach mathematisch exakt definierten Funktionen angefertigt.

In der Abbildungs-Reihe sollen die verschiedensten Aspekte von Exponentialfunktionen konzentriert und systematisch zusammenhängend dargestellt werden.

Diese Sammlung von Abbildungen ist ein konkreter Beitrag, grundsätzliche Gesetzmäßigkeiten der Ökokrise aus der Sicht des Mathematikers darzustellen.

In Abbildung 7, S. 36 werden lineares Wachstum und exponentielles Wachstum miteinander verglichen. Diese Wachstumsarten wurden bereits qualitativ definiert (S. 36).

Die graphische Darstellung linearen Wachstums ist eine gerade Linie.

Beim exponentiellen Wachstum wird eine Unterscheidung gemacht zwischen einer "Rechen-Methode der jährlichen Verzinsung" und einer "Rechen-Methode der stetigen Verzinsung". Der Unterschied ist am Beispiel eines Bankkontos verständlich:

Werden einem Anfangskapital von DM 100,-- bei "jährlicher Verzinsung 5 %" (entsprechend einem Dezimalbruch $k = 0,05$) zugerechnet, dann beträgt das Konto $N(t)$ nach Ablauf der Zeit t (in Jahren):

$$\begin{aligned} N(t) &= 100,00 (1+0,05)^t = 100,00 \cdot (1,05)^t \\ &= 100,00 \cdot e^{\ln(1,05) \cdot t} . \end{aligned}$$

Der Zeitraum von einem Jahr kann verkürzt bzw. es kann von vornherein mit kürzeren Zeiträumen gerechnet werden:

Halbjahr - Vierteljahr - Monat - Woche - Tag - Stunde - Minute - Sekunde - ...

Dabei kann der Zeitraum gegen null gehen. Dann werden nicht nach einem Jahr 5 %, sondern nach jeweils einem halben Jahr 5/2 %, also 2,5 % bzw. nach jeweils einem Vierteljahr 5/4 %, also 1,25 % Zinsen berechnet und dem Konto gutgeschrieben.

Die erwähnte Zeitverkürzung entspricht also einem Übergang "Jährliche Verzinsung- halbjährliche Verzinsung - vierteljährliche Verzinsung - monatliche Verzinsung -",

der Grenzfall, bei dem das Zeitintervall gegen null geht, ist die

stetige Verzinsung. In diesem Fall wächst das Konto nach der Formel

$$N(t) = 100,00 \cdot e^{0,05 \cdot t}.$$

Dies möge nun in allgemeineren Formeln ausgedrückt werden, wobei N_0 der Ausgangswert zur Zeit $t_0 = 0$ sei; k sei die Zuwachsrate als Dezimalbruch, $k \cdot 100$ ist demnach die Zuwachsrate in Prozent.

Jährliche Verzinsung:

$$N(t) = N_0 \cdot (1 + k)^t = N_0 \cdot e^{\ln(1 + k) \cdot t}$$

Stetige Verzinsung:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{k \cdot t}.$$

Für die Verdopplungszeit t_2 (Index "2" wegen des Faktors "2") gilt:

Jährliche Verzinsung:

$$t_2 = \frac{\ln 2}{\ln (1+k)}$$

Stetige Verzinsung:

$$t_2 = \frac{\ln 2}{k}$$

Wird in der letztgenannten Formel nicht mit dem Dezimalbruch k sondern mit der um einen Faktor 100 größeren Zuwachsrate in Prozent gerechnet, so müssen Zähler und Nenner mit 100 multipliziert werden, $\ln 2$, mit 100 multipliziert, ergibt den Wert 69,31, also rund 70. Dies entspricht der bereits früher gemachten Aussage, wonach die Zahl 70, dividiert durch die Zuwachsrate in Prozent, in recht guter Näherung die Verdopplungszeit ergibt.

Der Unterschied zwischen der Methode der jährlichen und der stetigen Verzinsung wird hier deshalb so hervorgehoben, weil er in der

Literatur häufig verwischt wird (4). Beide Methoden gehen ineinander über, wenn die Zuwachsrate gegen null (d.h. $k = 0,0$) geht.

$$\ln(1+k) \approx k$$

gilt um so besser, je kleiner k ist. Dies wird klar, wenn der Ausdruck $\ln(1+k)$ in einer Reihe entwickelt wird:

$$\ln(1+k) = k - \frac{k^2}{2} + \frac{k^3}{3} - \frac{k^4}{4} + \dots$$

Wird diese Reihe nach dem ersten Glied abgebrochen, so resultiert die Näherungsformel.

Zurück zur oben angeführten Funktion $y = a \cdot e^{b \cdot x}$.

Je nach dem,

- welche Werte die Parameter a und b in der Funktion $y = a \cdot e^{b \cdot x}$ haben,
- in welchem Maßstab in einer graphischen Darstellung die Abszisse und die Ordinate dargestellt sind (die graphischen Abbildungsmaßstäbe können sehr verschieden sein!)
- welcher (Teil-)Ausschnitt aus dem gesamten Wertebereich einer Funktion graphisch dargestellt ist,

können in konkreten graphischen Darstellungen sehr verschiedene Formen von Exponentialfunktionen dargestellt sein.

Liegt eine ganz bestimmte Kurve (graphische Darstellung einer Exponential-Funktion) oder ein bestimmter Kurven-Teil bzw. Kurven-Ausschnitt vor, dann ist es möglich, daß auf Anhieb die zugrunde liegende mathematische Gesetzmäßigkeit richtig erfaßt wird. Es kann aber auch sein, daß die graphische Darstellung einen subjektiven Eindruck hervorruft, der objektiv völlig falsch ist und z.B. zu einer völligen Fehleinschätzung der zugrunde liegenden Problematik führt. Dies soll am Beispiel der Abb. 8 (S. 37) dargelegt werden. Die Abbildung enthält drei Kurven (A,B,C), und zwar sind dies die graphischen Darstellungen dreier, mathematisch exakt definierter Exponentialfunktionen. Die Kurve A verläuft fast geradlinig; subjektiv könnte angenommen werden, es liege eine lineare Gesetzmäßigkeit zugrunde, und

etwaige Abweichungen von der Geradlinigkeit seien zufallsbedingt.

Von den drei Kurven (A,B,C) rufen die Kurve B und C am ehesten den subjektiven Eindruck einer exponentiellen Gesetzmäßigkeit hervor. Dennoch: Wäre der "rechte Teil" der Kurven (entsprechend hohen Werten von x) nicht dargestellt, könnte subjektiv die Zweifels-Frage auftauchen,

- ob y linear von x abhängt,
- oder ob y nicht gar unabhängig von x ist und somit eine Konstante darstellt.

Diese Frage entsteht besonders bei Betrachtung der Kurve C ohne den (äußersten) "rechten Teil".

Diese Kurve C hat in ihrer Form eine starke Ähnlichkeit mit der Kurve der Abbildung 4 (S. 26), die die Bevölkerungsexplosion charakterisiert.

Wird die ganze Kurve C betrachtet, dann kann subjektiv-gefühlsmäßig der pointierte Eindruck entstehen: "Die Kurve verläuft lange Zeit hinweg waagrecht, dann geht sie ganz plötzlich in die Senkrechte über." Ferner: "Die Kurve offenbart ihren wahren, d.h. exponentiellen Charakter sozusagen erst im allerletzten Moment."

Es könnte sogar vom "heimtückischen Charakter" des exponentiellen Wachstums gesprochen werden. (S. das Gleichnis von der Wasserpflanze im Gartenteich.)

Die menschliche Psyche ist wesentlich geprägt von den Erfahrungen des Alltags. Hierbei geht es - verglichen mit atomaren oder astronomischen Dimensionen - um mittlere Dimensionen. Es fällt dem Menschen sehr schwer, z.B. die Größe eines Baumes zu vergleichen

- mit der Größe eines Atomkernes
- oder mit der Entfernung zur Andromeda-Galaxie.

Die Andromeda-Galaxie oder auch Andromeda-Nebel genannt (wissenschaftliche Bezeichnung: M 31 = NGC 224 (72)) ist die unserer Milchstraße

nächstbenachbarte Spiral-Galaxie. Ihre Entfernung zu uns beträgt etwa 670 kpc (Kilo-Parsec), das sind etwa 2,2 Millionen Lichtjahre oder 138 Millionen Astronomische Einheiten (1 Astronomische Einheit: Mittlere Erd-Sonne-Entfernung, also 149,6 Millionen km) (72 , 4 , 5).

Obwohl diese Entfernung als endlich anzusehen ist, also "viel zu klein" ist, um als "unendlich" eingestuft zu werden, ist es kaum möglich, sich diese Größenordnungen anschaulich vorzustellen. Deshalb neigt der Mensch auch dazu, nur den gefühlsmäßig faßbaren Teil einer Exponentialfunktion zu sehen, und alles andere aus dem Bewußtsein zu eliminieren.

In einem endlichen System mit einem permanenten physischen Wachstum ist es - naturgemäß - nur eine Frage der Zeit, wann die "Grenzen des Wachstums" erreicht werden. Bei einem linearen Wachstum werden diese Grenzen (evtl.) erst relativ spät erreicht. Bei einem exponentiellen Wachstum ist einzukalkulieren, daß die "Grenzen des Wachstums" sehr rasch bzw. sehr plötzlich erreicht sind.

In diesem Sinne könnte ein lineares Wachstum als "relativ harmlos", ein exponentielles Wachstum dagegen - langfristig gesehen - als "dramatisch", "katastrophal", oder "heimtückisch" angesehen werden.

Bei vielen graphischen Darstellungen von Wachstums-Funktionen ist auf den ersten Blick oft nicht zu entscheiden, ob lineares oder exponentielles Wachstum vorliegt.

Bei Wachstums-Funktionen, die alle exponentiellen Charakter tragen, ist die Wahrscheinlichkeit, diesen objektiv exponentiellen Charakter subjektiv richtig und treffsicher zu deuten, bei verschiedenen Darstellungen verschieden groß. Hierbei spielt der Zeithorizont eine Rolle.

Bei der graphischen Darstellung von exponentiellem Wachstum für ein nur kurzes Zeitintervall, hat die entstehende Kurve in guter Näherung den Charakter einer geraden Linie. Wird jedoch - bei gleicher mathematischer Exponentialfunktion - durch Vergrößerung der Zeiteinheit der Zeitraum der graphischen Darstellung vergrößert, z.B. indem

man als Zeiteinheit nicht Monate oder Jahre, sondern Generationen oder Jahrhunderte wählt, dann tritt der Charakter des Exponentiellen, bildlich dargestellt durch die "Biegung" der Kurve, deutlicher zutage (s. Abb. 9, S. 38).

Die Abbildung besteht aus zwei Teilen, in beiden Fällen ist ein jährliches Wachstum von $3 \frac{1}{3} \%$ dargestellt, im unteren Abbildungsteil fungiert die Zeiteinheit "Jahr" ("Anzahl Jahre", erfaßter Zeitraum: etwa 1965 bis 1974), im oberen die Zeiteinheit "Generation" ("Anzahl Generationen", erfaßter Zeitraum: 1770 bis 2070). Es können also, wie E. BASLER (s. Abb. 9) sagt, "zwei verschiedene Beurteilungen des gleichen Phänomens" resultieren.

Anders gesagt: Die Beurteilung des Phänomens ist eine Funktion des betrachteten Zeitintervalls.

Genauer formuliert:

Die Wahrscheinlichkeit, die objektiv vorliegende Exponentialfunktion subjektiv richtig zu beurteilen, ist um so größer, je größer der betrachtete Zeithorizont ist. Durch Vergrößerung des Zeithorizontes tritt gewissermaßen die wahre "Dramatik" exponentiellen Wachstums immer deutlicher zutage.

Aus diesem Grund steht am Anfang dieser Arbeit "Langzeitaspekte".

Wenn deshalb Verantwortliche in Wirtschaft und Politik exponentielles Wachstum anstreben, indem sie auf die Beibehaltung oder gar Erhöhung prozentualer Zuwachsraten drängen und dabei nur in Kurzzeithorizonten, z.B. in Zeiteinheiten von Legislaturperioden denken, dann befinden sie sich in Gefahr, die langfristigen Folgen ihres Handelns zu verharmlosen.

Es folgen zunächst die Abbildungen 7 bis 20. Diese 14 - nacheinander aufgeführten - Abbildungen ermöglichen einen konzentrierten Überblick über mathematische "Eigenschaften von Exponentialfunktionen".

Eine lineare Betrachtung eines Ausschnitts der graphischen Darstellung einer Exponentialfunktion ist in um so besserer Näherung möglich,

- je kleiner der zugrunde liegende Zeithorizont ist, also je kleiner die auf der Abszisse dargestellte Zeiteinheit ist (diese Aussage wurde bereits früher gemacht und in Abb. 9, S.38 , konkret illustriert)

und/oder

- je kleiner die Abszissenwerte der Kurve sind. d.h. je mehr man sich im Anfangsteil der Kurve (kleine Werte von y bzw. x) befindet.

(natürlich spielt, wie auf S.53 bereits erwähnt, auch der Abbildungsmaßstab eine Rolle, sowie die Größe des graphisch dargestellten Teil-Ausschnittes aus dem gesamten Wertebereich einer Funktion).

Zur Erhärtung der letzteren Aussage mögen die drei Kurven A, B und C der Abb. 8 (S.37) dienen:

Wird zu verschiedenen Punkten jeder dieser Kurven die Tangente gezeichnet oder an diesen Punkten das Lineal angelegt, so zeigt sich, daß der Verlauf der Tangente bzw. des Lineales zu Anfang in relativ guter Näherung, später jedoch in immer schlechterer Näherung mit dem Verlauf der Kurve übereinstimmt.

Dies läßt sich mathematisch folgendermaßen erklären:

Die Tangente bzw. das Lineal charakterisieren etwas Lineares, also etwas, was - unabhängig vom jeweiligen Abszissenwert - eine konstante Steigung hat. Dagegen wächst die Steigung der Funktion - und zwar in Abhängigkeit vom Abszissenwert - exponentiell; somit tut sich zwischen dem Linearen und dem Exponentiellen eine immer größere Differenz auf (vgl. Abb. 7, S. 36).

E. BASLER hat in seinen Büchern

Strategie des Fortschritts

- Umweltbelastung, Lebensraumverknappung
und Zukunftsforschung (1973)

und

Zivilisation im Umbruch
- Zur Erhaltung und Gestaltung des menschlichen
Lebensraumes (1974)

im Zusammenhang mit einer Darlegung der mathematischen Eigenschaften von Exponentialfunktionen darauf hingewiesen, daß der Mensch dazu neigt, erfahrene Veränderungen aus der Vergangenheit gefühlsmäßig linear in die Zukunft zu extrapolieren (4,5) und er hat die daraus resultierenden Fehler quantitativ illustriert:

Siehe hierzu die Abbildungen 10 - 13 (S.39 ff) und die entsprechenden Erläuterungen.

Die Dinge ändern sich immer rascher, und dies legt die Aussage nahe, daß die menschlichen Erfahrungen aus der Vergangenheit für die Zukunft immer rascher veraltet sind.

Bei den z.T. sehr lebhaften Pro- und Contra-Diskussionen um die Studien des Club of Rome kann berechtigt gefragt werden: "Was aus dem Erfahrungsschatz der Menschheitsgeschichte ist geeignet, um die anstehenden Probleme zu lösen?". Z.B. als 1973 die Ölkrise ausbrach und autofreie Sonntage notwendig wurden, entstand innerhalb weniger Tage eine Situation, für die es in der Menschheitsgeschichte kein Beispiel gab; eine langfristige Zukunftsaussage erschien nicht mehr möglich.

Abb. 14 (S.⁴³) charakterisiert eine weitere Eigenschaft von Exponentialfunktionen. Hier geht es um das Verhältnis von Intervall-Größen auf der Ordinate zu den entsprechenden Intervall-Größen auf der Abszisse, und zwar im Verlauf des Kurvenanstiegs (Anwachsen von y und x ; die Intervalle sind durch Schraffierung gekennzeichnet): Im Verlauf des Kurvenanstiegs entsprechen gleiche Intervalle auf der Ordinate immer kleiner werdenden Intervallen auf der Abszisse, oder, was das gleiche ist, gleiche Intervalle auf der Abszisse entsprechen immer größer werdenden Intervallen auf der Ordinate. Das "Intervall-Verhältnis" (Quotient aus der Größe des Ordinatenintervalles und der

Größe des entsprechenden Abszissenintervalles) wird im Verlauf des Kurvenansteiges immer größer. Diese Eigenschaft von Exponentialfunktionen wird in einer besonders pointierten Weise in der darauffolgenden Abbildung 15 (S. 44) dargestellt:

Während der Ordinatenwert von 50 um einen Faktor 4 auf 200 anwächst (die Intervallgröße ist also $200 - 50 = 150$), wächst der Abszissenwert von etwa 7 auf etwa 8 an, also um etwa einen Faktor $8/7 = 1,14$.

An diesem Beispiel kann auch einiges über die Größe von "Prognose-Fehlern" gezeigt werden:

Wenn in einem endlichen System eine Größe y als Funktion von x (bzw. als Funktion der Zeit) nach einer vorgegebenen Formel exponentiell anwächst, dann interessieren zwei Fragen:

- Wo, d.h. bei welchem y -Wert liegt die Grenze des Wachstums?
- Wann, d.h. bei welchem x -Wert ist diese Grenze erreicht?

Der y -Wert kann verschieden interpretiert werden, und zwar

- entweder objektiv im Sinne einer realen physischen Grenze,
- oder subjektiv im Sinne eines Wissens oder einer Unwissenheit um diese Grenzen

bzw. im Sinne von subjektiven Annahmen über diese Grenzen z.B. in Prognosen, Hochrechnungen oder Modellrechnungen.

Bei der ersten Interpretation entsteht die Frage: Wie groß ist der Zeitgewinn, wenn die Grenze hinausgeschoben wird?

Die Abb. 15 (S.44) gibt die Antwort:

Wenn die Grenze um einen Faktor 4 hinausgeschoben wird, dann ist der Zeitgewinn gekennzeichnet durch einen Faktor 1,14. Während also die physische Grenze relativ weit hinausgeschoben wird, ist der entsprechende Zeitgewinn sehr klein, das Problem wird nur geringfügig zeitlich hinausgeschoben (siehe hierzu die Modellrechnungen über die Welt-Erfölvorräte).

Wird die zweite Interpretation für y gewählt, nämlich der subjektive Wissensstand bzw. die subjektiven Annahmen über die Grenze des

Wachstums, so zeigt die Abb. 15 (44) ein ähnliches Ergebnis: Wenn in einer Modellrechnung die Annahmen (Input) um einen Faktor 4 schwanken, dann schwankt das zeitliche Ergebnis (Output) nur um einen Faktor 1,14.

Anders gesagt:

Relativ große Fehler im Input führen nur zu relativ kleinen Fehlern im Output.

D.h. auch wenn die objektiven Grenzen des Wachstums subjektiv nicht genau bekannt sind, sind dennoch entsprechende Modellrechnungen von hohem Aussagewert.

Wenn also z.B. gegen die Studie von D. MEADOWS "Die Grenzen des Wachstums" der Einwand erhoben wird, manche Annahmen für seine Modellrechnungen seien falsch bzw. zu hoch oder zu tief angesetzt oder sonstwie ungenau, dann muß dazu auch gesagt werden, welchen quantitativen Einfluß dies auf das Ergebnis der Studie hat.

Die Funktionsgleichung in Abb. 16 (S. 45) unterscheidet sich nur durch den Parameter c von der Funktionsgleichung der erörterten Abb. 15 (S. 44), entsprechend einer Verschiebung der Kurve parallel zur x-Achse. Anhand dieser Abb. 16 soll eine weitere Gesetzmäßigkeit der Umweltproblematik dargelegt werden.

Um dies konkret zu verdeutlichen, soll ein Beispiel angeführt werden:

Eine Fabrik steigert ihre Produktion ständig, und als Ausdruck dieser Produktionssteigerungen steigen z.B. die Schornsteinabgase (Abgas-Emissionen) exponentiell. Nachdem dies lange Zeit unbedeutend war, wurde nach Abb. 16 (S. 45) plötzlich ein Emissions-Grenzwert von 100 (Punkt A) erreicht (d.h. pro Zeiteinheit werden 100 Schadeinheiten emittiert, z.B. 100 t Schwefeldioxid pro Tag). Nun wird im Sinne des technischen Umweltschutzes in den Schornstein ein Filter mit einem Wirkungsgrad von 95 % eingebaut, 95 % des Abgases werden also zurückgehalten, 5 % gelangen ins Freie, die Emission ist also um einen Faktor 20 reduziert worden. Nach die-

sem Filtereinbau führen Produktionssteigerungen zu weiteren exponentiellen Steigerungen der Emission, es ist nur eine Frage der Zeit, wann der Emissionsgrenzwert wieder erreicht ist. Analog der gefühlsmäßigen linearen Extrapolation von Funktionen, wäre die irrtümliche Meinung möglich "wenn die Schadstoffemission um einen Faktor 20 reduziert wurde, ist der Zeitgewinn (bis zum erneuten Erreichen des Emissions-Grenzwertes) ebenfalls gekennzeichnet durch einen Faktor 20."

Dies ist aber wie Abb. 16 (S.45) zeigt, ein großer Irrtum. Der Zeitgewinn ist in Wirklichkeit minimal. Der Emissions-Grenzwert ist erneut bei Punkt B erreicht, ein zweiter Abgas-Filter wird eingebaut, der die bereits gefilterten Abgase wiederum um einen Faktor 20 reduziert. Die gesamte Abgas-Menge ist also jetzt insgesamt um einen Faktor $20^2 = 400$ reduziert worden. Trotzdem wird nach sehr kurzer Zeit der Emissions-Grenzwert wieder erreicht, ein dritter Filter wird eingebaut. In Punkt D ist der Emissions-Grenzwert zum vierten Male erreicht, die gesamte Schadstoffmenge ist insgesamt durch drei Filter um einen Faktor $20^3 = 8000$ (also um 99,9875 %) reduziert worden, dennoch beträgt der Zeitgewinn nicht einmal einen Faktor 2, d.h. der Abszissenwert von D ist nicht einmal um einen Faktor 2 größer als der Abszissenwert von A.

Kurz: Relativ große Opfer im Sinne des Umweltschutzes führen nur zu einem relativ kleinen Aufschub des Problems.

Dieses Phänomen wurde am Beispiel von Fabrik-Abgasen illustriert. Es hätte ebenso auch am Beispiel von Fabrik-Abwässern dargestellt werden können und statt der Umweltbeeinträchtigung durch die Industrie hätte auch die Umweltbeeinträchtigung durch die Abwasser privater Haushalte angeführt werden können).

Wenn z.B. phosphathaltige Abwässer in exponentieller Steigerung in einen See eingeleitet werden, dann ist es nur eine Frage der Zeit, bis wann die Grenze der Aufnahmefähigkeit erreicht ist (auf das Problem der Gewässer-Eutrophierung durch Phosphate wurde bereits

eingegangen). Werden nun von einem bestimmten Zeitpunkt an die Abwässer vor der Einleitung in den See durch eine Kläranlage mit Phosphateliminierung (Dritte Reinigungsstufe oder Simultanfällung) gereinigt, dann entsteht - bei fortwährendem exponentiellem Wachstum der Abwassermenge - die Frage, um wieviel das Problem eigentlich hinausgeschoben wurde.

Auf diese Frage geht die Abb. 17 (S. 46) anhand eines konkreten Beispiels ein (Abb. 17 ist auch ein Beispiel für das in Abb. 16 sichtbar gewordene Phänomen). Die irrtümliche Annahme: "Durch den Bau der Kläranlage mit Phosphateliminierung ist das Phosphatproblem im wesentlichen als gelöst anzusehen." widerlegt Abb. 17 (S. 46). Das Problem ist keineswegs gelöst, sondern nur um 22 Jahre, also um weniger als eine Generation verlagert worden".

Eine letzte mathematische Eigenschaft exponentiellen Wachstums soll die Frage lösen: Nach welcher Gesetzmäßigkeit wächst die Differenz, wenn von einem bestimmten Zeitpunkt an zwei verschieden große Werte um die gleiche Zuwachsrate exponentiell anwachsen?

Gegeben seien zu Anfang, also zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ die beiden verschieden großen (Ausgangs-)Werte A_0 und B_0 , die als Funktion der Zeit t anwachsen ($A = A(t)$; $B = B(t)$), und zwar jährlich um $k \cdot 100$ Prozent (also jährlich um einen Faktor $F = (1 + k)$).

Die Differenz beträgt zu Anfang D_0 und wächst ebenfalls als Funktion der Zeit ($D = D(t)$).

Es gilt:

$$A_0 - B_0 = D_0$$

$$A(t) = A_0 \cdot (1 + k)^t$$

$$B(t) = B_0 \cdot (1 + k)^t$$

Im Verlauf der Zeit t wächst die Differenz:

$$\begin{aligned} A(t) - B(t) &= A_0 \cdot (1 + k)^t - B_0 \cdot (1 + k)^t \\ &= (A_0 - B_0) \cdot (1 + k)^t \\ &= D_0 \cdot (1 + k)^t = D(t) \end{aligned}$$

$$D(t) = D_0 \cdot (1 + k)^t .$$

Die Differenz wächst also auch exponentiell.

Dieses Ergebnis ist einfach und gleichzeitig brisant. Der Durchschnitts-einwohner einer reichen Nation einerseits und einer armen (bzw. der Dritten Welt) andererseits leisten jeweils einen unterschiedlichen Beitrag zur lokalen und/oder globalen Umweltverschmutzung (berechnet als Pro-Kopf-Wert), und sie haben einen unterschiedlichen Pro-Kopf-Verbrauch an Rohstoffen bzw. an Primärenergieträgern. Die unterschiedlichen Pro-Kopf-Werte entsprechen in einem bestimmten Bezugsjahr (bzw. Ausgangsjahr; $t_0 = 0$) den Werten A_0 und B_0 .

Wird in einer Modellrechnung unterstellt, daß der Reiche und der Arme bezüglich der betrachteten Größe jeweils die gleiche Zuwachsrate haben, dann wächst die Differenz exponentiell.

Hierzu gibt Abb. 18 (S.47) ein konkretes Beispiel:

Im Jahre 1972 (entsprechend t_0) verbrauchte ein Durchschnitts-Bürger der Bundesrepublik 2,28 Tonnen (t) Mineralöl (entsprechend A_0) und ein Inder 0,035 t (entsprechend B_0).

In Abb. 18, S.47 wird angenommen, daß in beiden Fällen der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch um 5 % wächst (entsprechende Verdopplungszeit ca. 14 Jahre); somit wächst auch die Differenz zwischen den beiden Pro-Kopf-Verbrauchswerten um jährlich 5 %.

Wird diese Differenz als Maß für den unterschiedlichen materiellen Wohlstand betrachtet, so ergibt Abb. 18 (S.47):

Der Gegensatz zwischen Armut und Reichtum wächst exponentiell mit der Verdopplungszeit von 14 Jahren.

Übrigens: Die Kurve des Pro-Kopf-Verbrauches in Indien in Abb. 18 (S.47) kann im ersten Moment den - objektiv falschen - Eindruck hervorrufen, hier liege ein lineares Wachstum vor (s. subjektive Eindrücke und Täuschungen bei linearem und exponentiellem Wachstum (S. bzw. Abb. 8 - 10, S.³⁷ ff)).

In Abb. 19 (S. 48) ist der zu Abb. 18 (S. 47) gehörige kumulierte Pro-Kopf-Verbrauch in der BRD und in Indien aufgeführt. Hinweis: Unter dem kumulierten Pro-Kopf-Verbrauch wird der Gesamt-Verbrauch (= Summe der jährlichen Verbrauchswerte) in einem größeren Zeitraum von einem bestimmten Ausgangsjahr (hier 1972) an betrachtet.

Abb. 20 (S.49) zeigt wie die Differenz des jährlichen Verbrauches (Abb. 18, S. 47) bzw. des kumulierten Verbrauches (Abb. 18, S. 47) im Verlauf der Zeit anwächst.

Wenn weder die reichen Länder noch die armen Länder auf jährliche Zuwachsraten verzichten wollen, und der Gegensatz zwischen Armut und Reichtum ("Nord-Süd-Konflikt") möglichst rasch beseitigt werden soll, dann müssen die armen Länder möglichst ganz große und die reichen Länder möglichst nur ganz kleine Zuwachsraten haben. Solche Modellrechnungen werden in Kapitel IV am Beispiel des Ölverbrauches in der BRD und in Indien unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bevölkerungs-Entwicklungen behandelt.

Die Problematik des Nord-Süd-Konfliktes ist äußerst komplex und kann hier keineswegs umfassend analysiert werden.

In dieser Arbeit geht es nur um einen elementaren mathematischen Aspekt, d.h. um die Frage:

Was läßt sich aus der Perspektive "mathematischer Eigenschaften von Exponentialfunktionen (= Rahmenthema der Abbildungen 7-20, S. 36 ff) bzw. aus der Perspektive elementarer Modellrechnungen über den Nord-Süd-Konflikt aussagen?

2.3.4 Kurze Zwischenbilanz

Die Umwelt- und Überlebenskrise ist in vielfältiger Weise vom Phänomen exponentiellen Wachstums gekennzeichnet.

Wenn sich ein Problem exponentiell verschlimmert, dann ist zur grundsätzlichen Beurteilung bzw. zur Standortbestimmung des Problems aus mathematischer Sicht folgendes zu sagen:

1. Jeder Wert der Exponentialfunktion ist größer als jeder vorangegangene Wert.
2. Die Ableitung der Exponentialfunktion bzw. die Steigung nimmt ständig zu, jeder Punkt hat einen höheren (Ordinaten-) Wert als jeder vorangegangene Punkt.
3. Es ist offensichtlich sehr schwer, in den Kategorien der Alltagssprache das mathematische Phänomen zum Ausdruck zu bringen, daß die zweite - und auch die höheren - Ableitungen einer Exponentialfunktion (mit positivem Exponenten) ständig wachsen.
4. Noch niemals haben lineare Extrapolationen aus der Vergangenheit in die Zukunft zu so großen Fehlern geführt wie jetzt.
Hieraus läßt sich nicht exakt beweisen, aber doch plausibel bzw. diskussionswert nahelegen: Noch niemals haben uns Erfahrungen aus der Vergangenheit so wenig für die Zukunft genutzt wie jetzt.
5. Wenn in einem reichen und in einem armen Land der unterschiedliche Pro-Kopf-Verbrauch an Rohstoffen die gleiche prozentuale Zuwachsrate hat, dann wächst die Differenz zwischen den (jährlichen) Pro-Kopf-Verbrauchswerten exponentiell.

Aus den mathematischen Eigenschaften von Exponentialfunktionen resultiert, daß die Umwelt- und Überlebenskrise den Charakter des Einmaligen und des Noch-Niemals-Dagewesenen trägt.

Zur Erhärtung dieser Aussagen schreibt H. GRUHL (1975) zur Ökokrise:

"Bei näherem Hinsehen ist die Situation eindeutig und absolut einmalig:

1. Noch nie zuvor gab es mehrere Milliarden Menschen auf dem Planeten wie seit diesem Jahrhundert.

2. Noch nie zuvor verlangte jeder einzelne soviel von dieser Erde wie in den letzten dreißig Jahren.
3. Noch nie zuvor gab es eine wirtschaftliche Totalausbeutung bis in die fernsten Winkel dieser Erde, wie sie zur Zeit im Gange ist.
4. Noch zu keiner Zeit der Weltgeschichte wußten die Regierungen der Völker so wenig, wie es weitergehen soll, wie heute." (21).

2.3.5 Modellrechnungen zum Verbrauch der Welt-Mineralölvorräte

Die Fragen:

- Wie lange und unter welchen Bedingungen reichen die Welt-Mineralölvorräte?
- Wie groß ist der Zeitgewinn⁺⁾ , wenn - z.B. durch neue Funde oder durch Verbesserung der Gewinnungstechniken - die Ölvorräte erheblich vergrößert werden?

sollen formelmäßig nach der "Rechen-Methode der jährlichen Verzinsung" untersucht werden (s. S.53)

Der jährliche Welt-Mineralöl-Verbrauch (V(t) als Funktion der Zeit t (in Jahren) ist:

$$V(t) = V_0 \cdot (1 + k)^t$$

Dabei ist:

V_0 : Welt-Verbrauch im Ausgangsjahr $t_0 = 0$

t: Zeitlicher Abstand (in Jahren) von diesem Ausgangsjahr

k: Jährliche Zuwachsrate als Dezimalbruch;

$k \cdot 100$: Jährliche Zuwachsrate in Prozent
(s. auch die Formeln S. 53).

⁺⁾ Zur Terminologie: Die Zeit bis zur Erschöpfung der Rohstoffvorräte (Erschöpfung der Lagerstätten) wird als "Vorratsdauer" des Rohstoffs bezeichnet; durch neue Funde wird der Zeitpunkt der Erschöpfung der Lagerstätten hinausgeschoben, dies wird als "Zeitgewinn" bezeichnet.

Soll der Welt-Verbrauch über viele Jahre, d.h. also über einen längeren Zeitraum ermittelt werden, so müssen die jährlichen Verbrauchswerte addiert bzw. es muß die Formel für den kumulierten, Verbrauch angewendet werden.

Der kumulierte Welt-Mineralöl-Verbrauch KV als Funktion der Zeit t (in Jahren) ist:

$$KV(t) = \frac{V_0}{k} \cdot ((1 + k)^t - 1)$$

Bezüglich V_0 , k und t gilt, was bereits zur vorangegangenen Formel für den jährlichen Verbrauch $V(t)$ gesagt wurde (k bezieht sich stets auf den Zuwachs des jährlichen Verbrauches $V(t)$ und nicht auf den des kumulierten Verbrauches $KV(t)$).

Der Ausdruck " $- 1$ " in der Klammer "verhindert" zwar, daß der Wert für $KV(t)$ von Anfang an exakt exponentiell wächst, aber im Verlauf der Zeit wächst naturgemäß der Wert für t und somit auch der Wert für $(1 + k)^t$, demgegenüber ist der Wert " -1 " immer mehr zu vernachlässigen: Aus dem Wachstum von $KV(t)$ wird in immer besserer Näherung ein exponentielles Wachstum.

Die Auflösung der Formel nach t:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{KV(t) \cdot k}{V_0} + 1\right)}{\ln(1 + k)}$$

Wird in der nach t aufgelösten Formel für den Ausdruck $KV(t)$ der Wert für die Welt-Mineralölvorräte eingesetzt, dann bedeutet t die Vorratsdauer des Erdöls. Die Frage nach dem Wert von t ist dann gleichbedeutend mit der Frage "In welchem zukünftigen Zeitraum t wird weltweit insgesamt so viel verbraucht werden, wie derzeit an Welt-Mineralölvorräten noch vorhanden ist?".

Ausgangsjahr bzw. Bezugsjahr für alle Angaben zum Thema "Erdöl" ist in dieser Arbeit stets das Jahr 1972, das letzte Jahr vor der Ölkrise. Die Ölkrise traf verschiedene Länder der Erde unterschiedlich hart und sie haben sich auch dementsprechend verschieden rasch "erholt", was internationale Vergleiche nach dem Jahr 1972 erschwert. 1972 lag die Welt-Mineralölförderung bzw. der Weltmineralölverbrauch bei ca. 2,6 Milliarden (Mrd) Tonnen (27) (entsprechend V_0). 1972 und in den späteren Jahren wurden in der Literatur für die sicheren Welt-Mineralölvorräte Werte zwischen 81 Mrd. und 97 Mrd. Tonnen angegeben (27).

Gelegentlich mußten die Werte nach unten korrigiert werden. Die Ausgabe 1977/1978 des JAHRBUCHES FÜR BERGBAU, ENERGIE, MINERALÖL UND CHEMIE (27) gibt einen Wert von 81 Mrd. Tonnen an. In dieser Arbeit wurde der Wert für die sicheren Welt-Mineralölvorräte optimistisch auf 100 Milliarden Tonnen aufgerundet. Die Begriffe "Welt-Mineralölvorräte" und "Welt-Mineralölverbrauch" beziehen sich auch auf den Ostblock einschließlich China).

Bei einer Steigerung des jährlichen Welt-Mineralölverbrauches um jährlich 5 % reichen die Welt-Mineralölvorräte noch 21,98, also rund 22 Jahre.

Änderungen der jährlichen Zuwachsrate von einigen Prozent-Punkten haben nur einen relativ kleinen Einfluß auf das Ergebnis (Vorratsdauer). Unter der Annahme, daß die jährliche Zuwachsrate nur 2 % beträgt, reichen die Ölvorräte 28,8 Jahre. Da aber die Weltbevölkerung jährlich um ca. 2 % wächst, würde das eine weltweite Stagnation des Pro-Kopf-Verbrauches bedeuten.

In der Vergangenheit lagen die Zuwachsraten des jährlichen Welt-Mineralölverbrauches "zwischen 7 und 8 %" (27), verglichen damit ist eine Zuwachsrate von 5 % beinahe ein Ausdruck von Sparsamkeit.

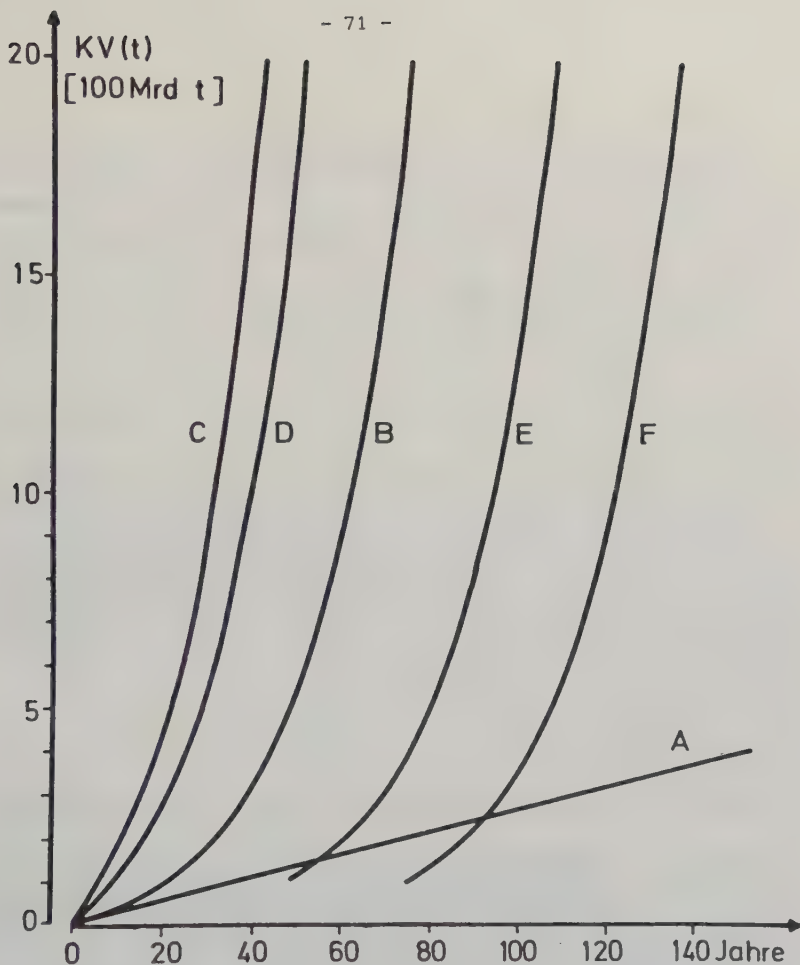


Abb. 21 : Kumulierter Welt-Mineralölverbrauch
(in Einheiten von 100 Mrd. t),
ausgehend von 1972 (Jahresverbrauch $V_0 = 2,6$ Mrd. t),
und zwar "statisch" (A, Nullwachstum des jährlichen Ver-
brauchs) und "dynamisch" bzw. "exponentiell" (B - F, je-
weils 5 %-iges, jährliches Wachstum des Jahresverbrauchs)

A : Weltverbrauch im Normal-Maßstab
B : Weltverbrauch im Normal-Maßstab
C : Weltverbrauch im USA - Maßstab
D : Weltverbrauch im BRD - Maßstab
E : Weltverbrauch im Afrika-Maßstab
F : Weltverbrauch im Indien-Maßstab
Genaueres im Text

Kumulierter Verbrauch KV(t) (in Mrd. t)	Vorratsdauer (in Jahren)	"Zeitgewinn" (= Differenz zweier Werte links)
100	21,98	
200	32,34	10,36
300	39,19	6,85
400	44,32	5,13
500	48,41	4,09
600	51,83	3,42
700	54,75	2,92
800	57,31	2,56
900	59,58	2,27
1 000	61,63	2,05
1 200	65,20	
1 500	69,60	
2 000	75,32	

Tab. 2 Vorratsdauer des Erdöls bei verschiedenen angenommenen Werten der Welt-Mineralölvorräte, sowie Zeitgewinn, wenn successive 100 Mrd. t Öl dazu gewonnen werden; die beiden ersten Spalten stellen eine zahlenmäßige Wiedergabe von Kurve B der Abb. dar. Weitere Angaben im Text.

Abb. 21 (S.71) stellt den kumulierten Welt-Mineralölverbrauch als Funktion der Zeit dar. "Kurve" A bezieht sich auf den Fall, daß jedes Jahr gleich viel verbraucht wird ($V_0 = 2,6$ Mrd. Tonnen), die anderen Kurven sind das Ergebnis der Annahme, daß der Jahresverbrauch stets um jährlich 5 % steigt bzw. steigen sollte. Der ("normale") Welt-Mineralölverbrauch ("Weltverbrauch im Normal-Maßstab") wird durch die Kurve B dargestellt. Nur diese Kurve interessiert zunächst. Entsprechende Zahlenangaben finden sich in Tab. 2 (S.72).

Wenn es möglich sein sollte, die erwähnten Welt-Vorräte von 100 Mrd. Tonnen durch neue Ölfunde oder durch Verbesserung der Gewinnungstechniken um 100 Mrd. Tonnen auf 200 Mrd. Tonnen auszuweiten, dann würde bei linearem Denken argumentiert:

"Wenn 100 Mrd. Tonnen 22 Jahre reichen, dann reichen 200 Mrd. Tonnen 44 Jahre, der Zeitgewinn beträgt also 22 Jahre."

Dies aber ist falsch: 200 Mrd. Tonnen reichen in Wirklichkeit nur 32 Jahre, der Zeitgewinn beträgt also nur 10 Jahre (Tab. 2, S. 72).

Und wenn dann successive jeweils 100 Mrd. Tonnen hinzugewonnen werden könnten, würde der Zeitgewinn knapp 7 Jahre, dann 5 Jahre, 4 Jahre, 3 Jahre etc. betragen.

Kurz: Gleiche Mengen zusätzlicher Ölvorräte führen zu einem immer kleiner werdenden Zeitgewinn.

Abb. 21 (S.71) sowie Tab. 2 (S.72) zeigen, wie groß der Zeitgewinn ist, wenn es dem menschlichen Erfindergeist gelingen sollte, durch neue Ölfunde und durch Verbesserung der Gewinnungstechniken die Ölvorräte erheblich zu vervielfachen.

Wenn die Welt-Mineralölvorräte auf 500 Mrd. Tonnen anwachsen wurden, dann reichten diese Vorräte nur 48 Jahre, also weniger als ein halbes Jahrhundert.

1000 Mrd. Tonnen würden 61 Jahre reichen.

Das heißt: Eine Verzehnfachung der Vorräte (1000 Mrd. Tonnen) würde gegenüber einer Verfünffachung der Vorräte (500 Mrd. Tonnen) nur

einen Zeitgewinn von 13 Jahren ($61 - 48 = 13$) erbringen.

Absolut utopisch: 2000 Mrd. Tonnen würden 75 Jahre reichen. Das bedeutet, daß eine Verzwanzigfachung der jetzt gegebenen 100 Mrd. Tonnen Weltvorrat einen Zeitgewinn von nur 53 Jahren ($75 - 22 = 53$) ergeben würde (s. die Abbildungen 14 und 15, S. 44).

Während die Kurve B in Abb. 21 (S. 71) von dem tatsächlich vorhandenen Welt-Mineralölverbrauch des Ausgangsjahres 1972 ausgeht, ($V_0 = 2,6$ Mrd. Tonnen; "Weltverbrauch im Normal-Maßstab") gehen die Kurven C - F von jeweils einem (hypothetischen) Weltverbrauch V_0 aus, der vorgegeben gewesen wäre, wenn 1972 alle Menschen der Erde einen so hohen Pro-Kopf-Verbrauch gehabt hätten wie ein Bürger der USA bzw. der BRD, oder Afrikas, bzw. Indiens. Diese verschiedenen Werte für V_0 werden der Reihe nach in die Formel für den kumulierten Verbrauch $KV(t)$ eingesetzt (s. oben) es liegt damit jeweils ein 5-%iges Wachstum des Jahresverbrauches vor, und $KV(t)$ wird als Funktion der Zeit bestimmt und graphisch aufgetragen. Das Ergebnis sind die Kurven C - F, die (verkürzt formuliert) den "Weltverbrauch im USA-Maßstab", "im BRD-Maßstab" usw. darstellen.

Bei diesen Rechenoperationen geht es um die Frage:

Wie lange reichen (ausgehend von 1972) die Welt-Mineralölvorräte, falls alle Erdenbürger so viel verbrauchen würden wie ein Bürger

- der USA
- der BRD
- Afrikas
- Indiens?

Abb. 21 (S. 71) zeigt:

Wenn alle Erdenbürger so viel verbrauchen würden wie ein Bürger der USA bzw. der BRD wären die Welt-Mineralölvorräte bereits in 6 bzw. in 11 Jahren erschöpft.

Würden dagegen alle Menschen so wenig verbrauchen wie ein Bürger Afrikas oder Indiens, so würden die Vorräte noch 48 Jahre bzw. 75 Jahre reichen.

2.4 KAPITEL IV

Zivilisationsökologische Belastungsdichten
Quantitative Aspekte des Nord-Süd-Konfliktes

2.4.1 Überleitung, einige grundsätzliche Bemerkungen

Die zivilisatorischen Verhaltensweisen des Menschen und die entsprechenden ökologischen Auswirkungen hängen sehr eng miteinander zusammen. H. STUMPF hat 1976 in seinem Buch:

Leben und Überleben

- Einführung in die Zivilisationsökologie -

die Begriffe "zivilisatorisch" und "ökologisch" zu "zivilisations-ökologisch" bzw. "Zivilisationsökologie" zusammengezogen.

Die verschiedenen Länder der Erde unterscheiden sich nicht nur bezüglich des Rohstoffverbrauches und des sonstigen Verhaltens ihrer Bewohner, sondern auch bezüglich verschiedener Dichte-Parameter, wie z.B. Einwohnerdichte und zivilisatorisch-ökologische Belastungsdichte. Diese Angaben werden charakterisiert durch "pro Kopf" oder "pro km²"-bezeichnungen.

Dabei ist eine methodische Schwierigkeit zu beachten:

"Die gesamte Erdoberfläche ist in Territorialstaaten parzelliert..." (G. PICHT, 1970). Die Grenzen und somit die Gesamtflächen der einzelnen Staaten wurden nicht oder zumindest nicht immer nach (landschafts-) ökologischen bzw. naturgeographischen Gesichtspunkten festgelegt.

Die verschiedenen Staaten der Erde unterscheiden sich durch einen unterschiedlichen hohen Anteil naturgeographischer Parameter wie Wüste, Hochgebirge, Ewiges Eis, Bodenfruchtbarkeit, Bewohnbarkeit durch den Menschen usw.

2.4.2 Bevölkerungsdichte im internationalen Vergleich (Bezugsjahr 1975)

Land bzw. Region	Einw./ km ²	Land bzw. Region	Einw./ km ²
EG	169	V.R. China	86
Bundesrepublik Deutschland	249	DDR	156
Belgien	321	Indien	182
Dänemark	117	Japan	301
Frankreich	97	Kanada	2
Großbritannien	229	UdSSR	11
Irland	45	USA	23
Italien	185	Afrika	13
Luxemburg	139	Südamerika	12
Niederlande	334	Welt	29

Tab. 48 Bevölkerungsdichte in verschiedenen Ländern und Regionen im Jahre 1975

(Quelle: STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BUNDESREPUBLIK 1976 und 1977)

Während die USA nur 23 Einw./km² ("E./km²") haben, ist die Bevölkerungsdichte der Bundesrepublik Deutschland (BRD) = 249 E/km², d.h. um mehr als einen Faktor 10 größer. Die Gesamtfläche der USA (9.363.120 km²) ist um einen Faktor 37 größer als die Gesamtfläche der BRD (248.600 km²).

Im Vergleich mit den USA hat auch die Europäische Gemeinschaft (EG) eine sehr große Bevölkerungsdichte = 169 E/km².

Auffallend niedrig ist dagegen die Bevölkerungsdichte der "Dritten Welt" (Afrika 13 E/km² und Südamerika 12 E/km²). Die USA haben schon fast das Doppelte von Südamerika.

H. STUMPF, 1976 (62) sagt: "Es ist eine weitverbreitete Meinung, daß in Asien die höchsten Bevölkerungsdichten auftreten. Das ist ein Irr-

tum." Dies beweist schon allein ein Vergleich von Indien oder der Volksrepublik China mit der Bundesrepublik Deutschland.

2.4.3 Angaben "Pro-Kopf" und "Pro km²" für verschiedene Länder und Regionen der Erde

"Pro-Kopf"-Werte sind aufschlußreich für den unterschiedlichen materiellen Reichtum der Nationen, die "Pro km²"-Werte zeigen die unterschiedlichen zivilisationsökologischen Belastungsdichten der Länder.

Dies sollen die Abbildungen verdeutlichen.

Die Abbildungen 22 - 35 zeigen:

1. Bezüglich der Pro-Kopf-Angaben:

- a) In fast allen Fällen sind die USA führend
- b) Dicht hinter den USA stehen die EG bzw. die BRD bzw. Japan

2. Bezüglich der Pro-km²-Angaben:

- a) Die USA haben eine sehr kleine Belastungsdichte und dementsprechend geringe Werte
- b) Die Belastungsdichten in der EG und insbesondere in der BRD und Japan sind dagegen sehr groß.

3. Bezüglich der Pro-Kopf-Angaben und der Pro-km²-Angaben zusammen:

- a) Die Werte der Dritten Welt sind sehr niedrig
- b) Übereinstimmend ist die Situation in der Bundesrepublik und in Japan

Die Situation der BRD ist mit der Situation in den USA viel weniger vergleichbar als mit der Situation in Japan.

Hierzu verweist eine 1974 erschienene Veröffentlichung von Bo GUNNARSSON:

"Japans Ökologisches Harakiri

- Oder:

Das tödliche Ende des Wachstums

Eine Warnung an alle überindustrialisierten Staaten"

Darin wird deutlich, wohin eine hohe zivilisatorisch-ökologische Belastungsdichte auf die Dauer führt.

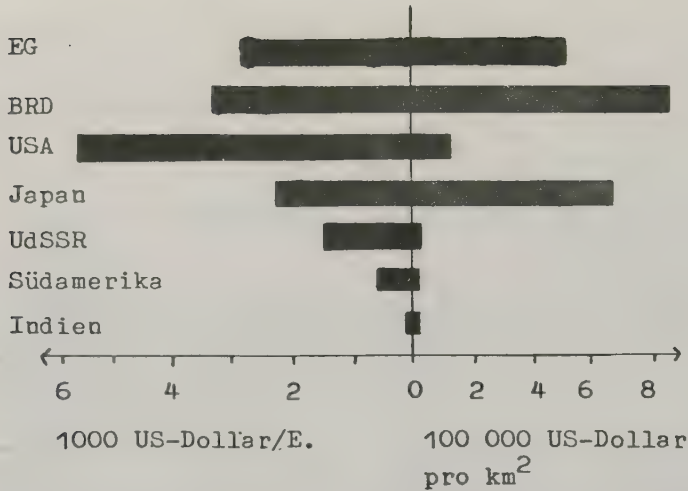


Abb. 22 Bruttosozialprodukt 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

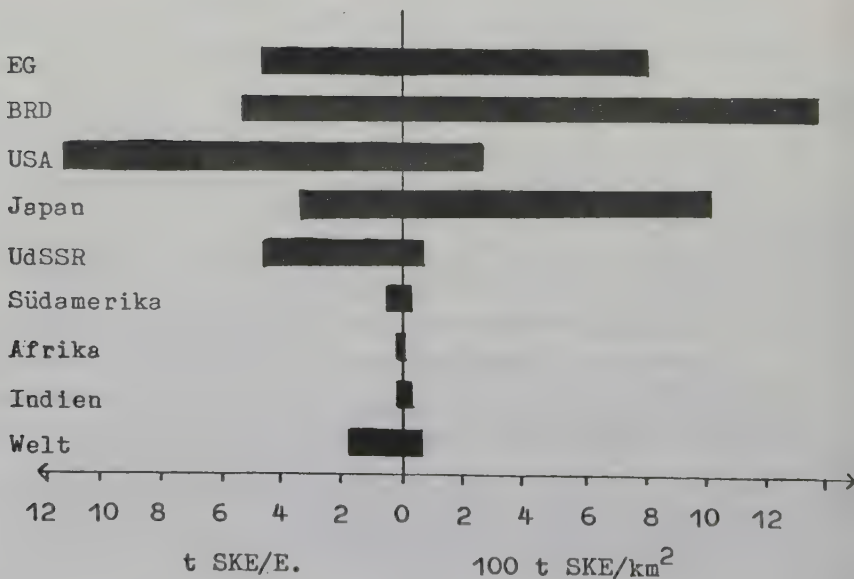


Abb. 23 Energieverbrauch 1972 in Steinkohleneinheiten (SKE), und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

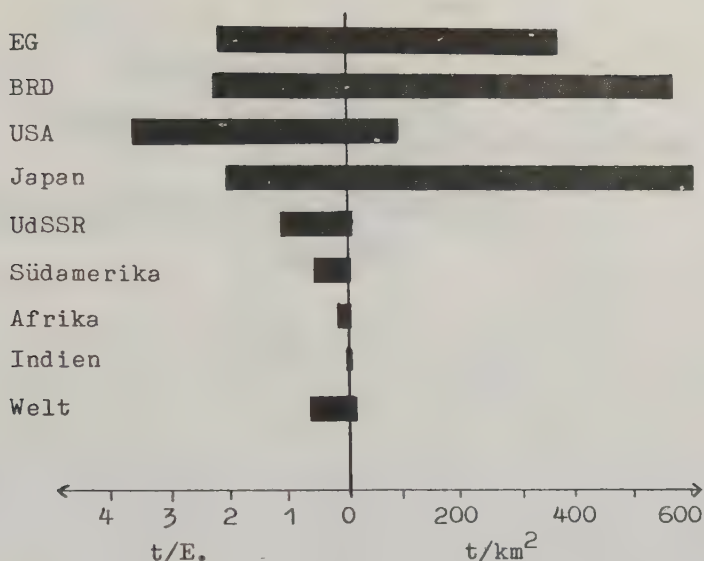


Abb. 24 Mineralölverbrauch 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

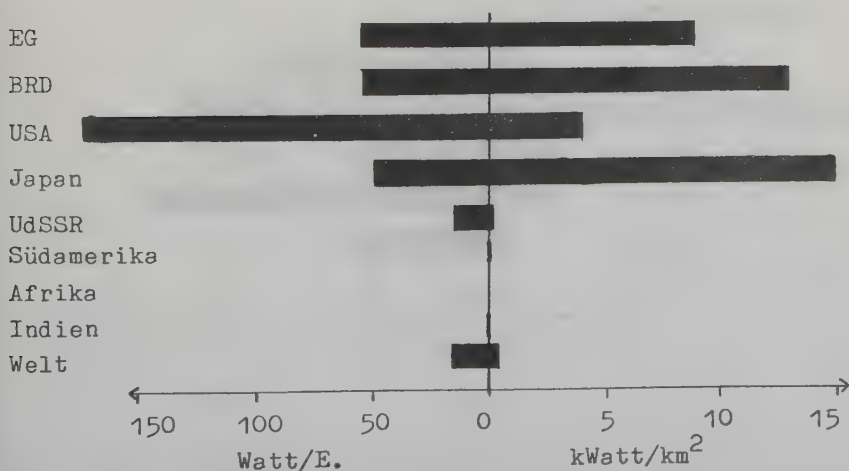


Abb. 25 Kernenergie: Installierte Kernkraftwerksleistung Mitte 1975, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

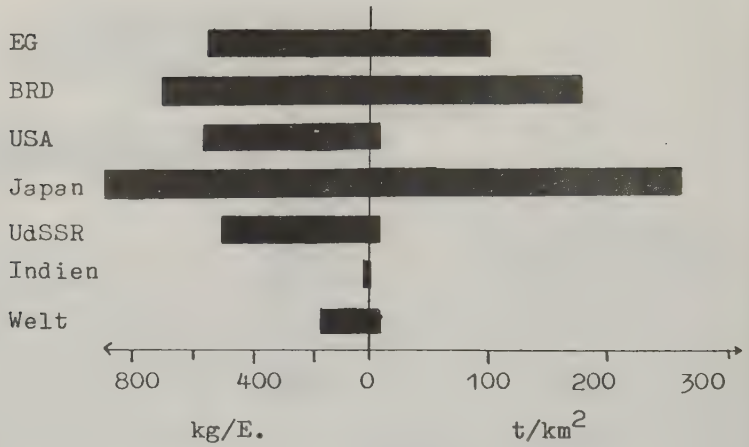


Abb. 26 Erzeugung von Roh-Stahl 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

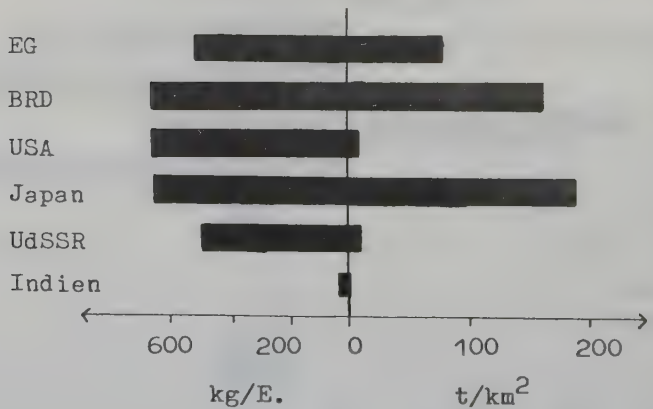


Abb. 27 Verbrauch von Roh-Stahl 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

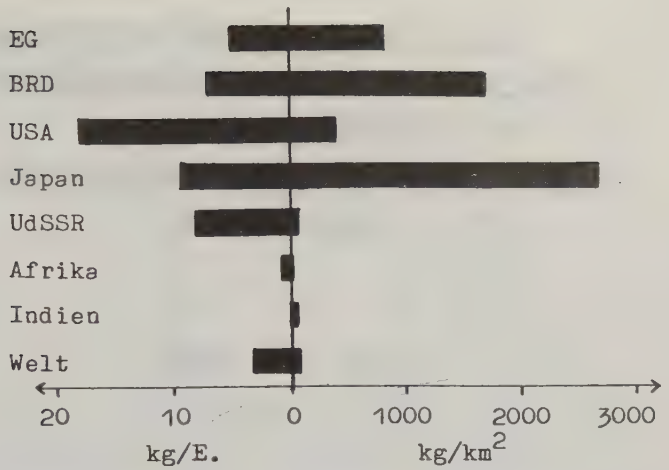


Abb. 28 Produktion von Hütten-Aluminium 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

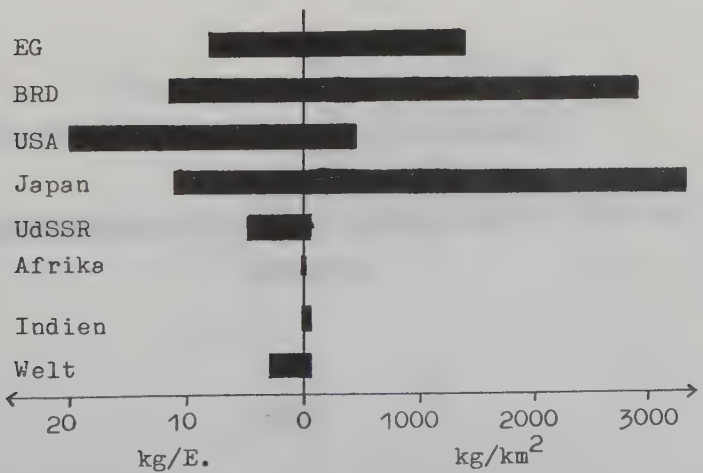


Abb. 29 Verbrauch von Hütten-Aluminium 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

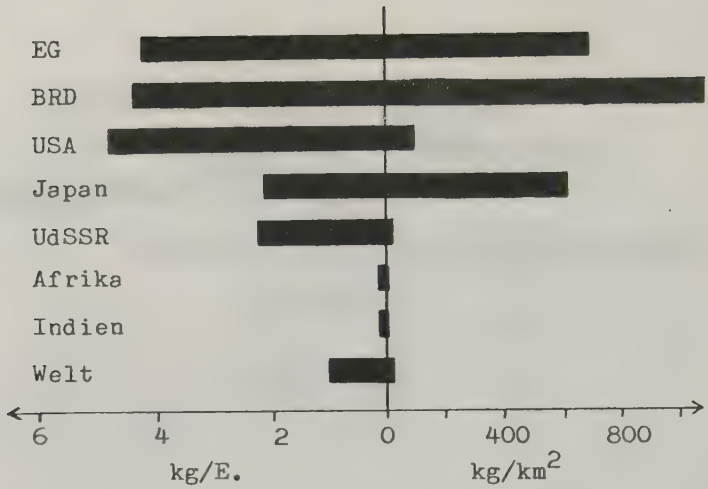


Abb. 30 Verbrauch von raffiniertem Blei 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

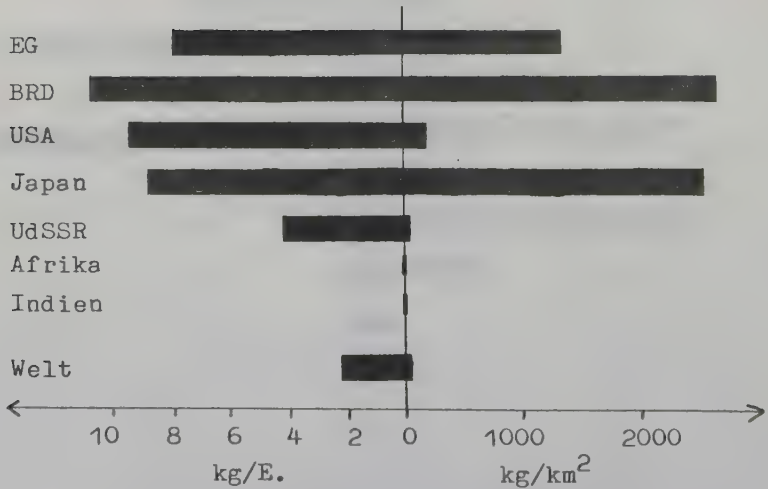


Abb. 31 Verbrauch von raffiniertem Kupfer 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

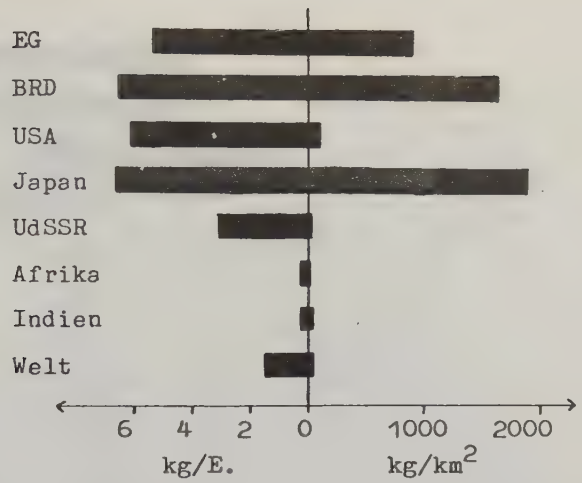


Abb. 32 Verbrauch von Roh-Zink 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

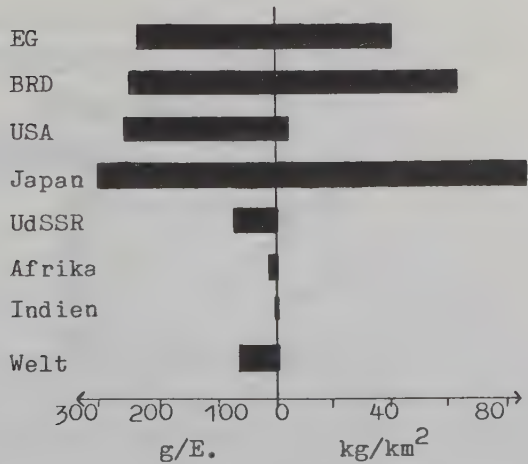


Abb. 33 Verbrauch von Roh-Zinn 1972, und zwar "Pro Kopf" und "Pro km²"

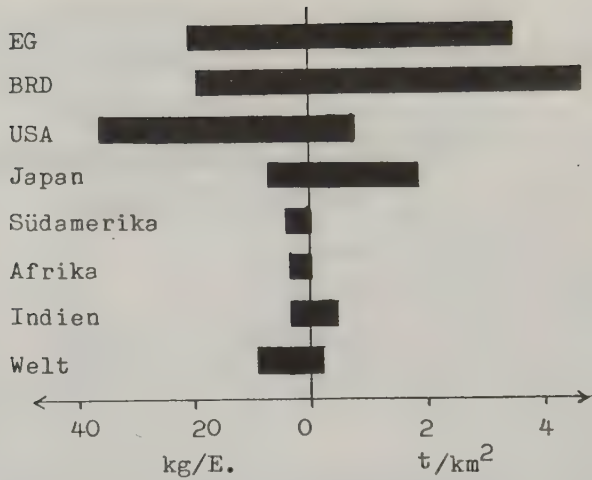


Abb. 34 Verbrauch von Stickstoff-Dünger 1972/73
(berechnet als N), und zwar "Pro Kopf" und
"Pro km²"

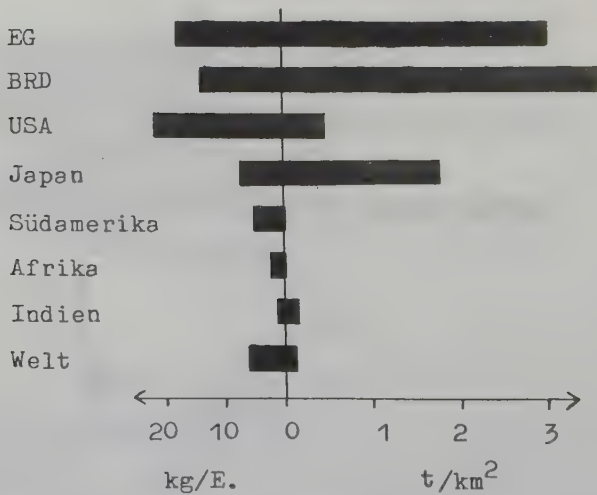


Abb. 35 Verbrauch von Phosphat-Dünger 1972/73
(berechnet als P₂O₅), und zwar "Pro Kopf"
"Pro km²"

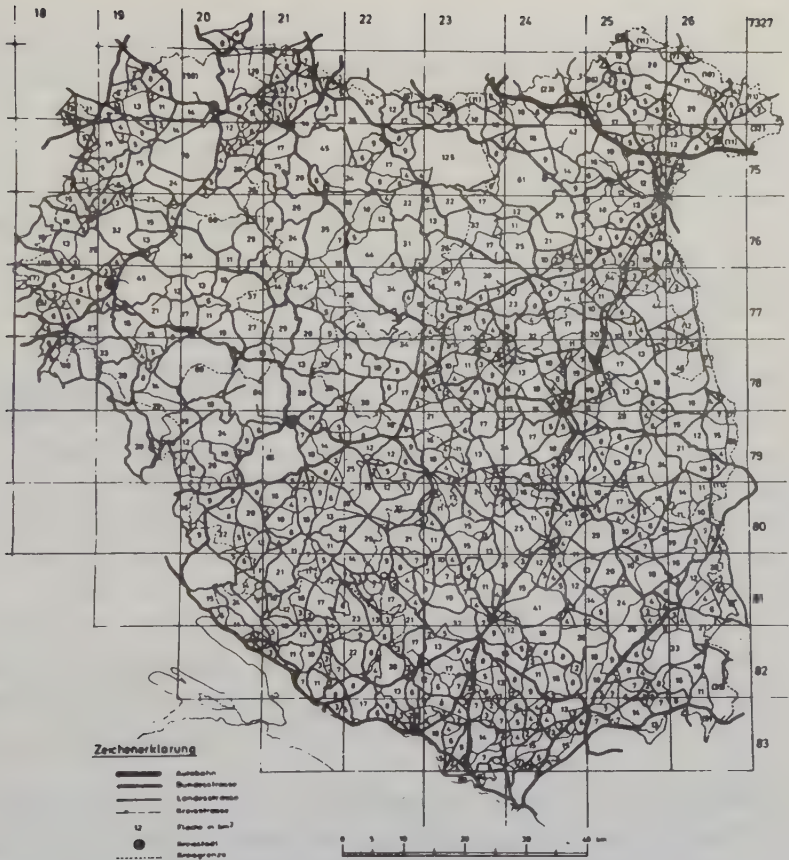


Abb. 36 Zerlegung einer Landschaft durch ein Straßennetz

Die Abbildung zeigt, wie das Regierungspräsidium Tübingen durch eine Autobahn sowie durch Bundes-, Landes- und Kreisstraßen in insgesamt 1002 Teilflächen zerlegt ist.

(Quelle: Blätter für Natur- und Umweltschutz
3/1975 (25))

Die Fläche der USA ist, wie erwähnt, ca. 37 mal so groß wie die Fläche der BRD. Dies zeigt, daß die BRD viel zu klein und damit wirtschaftlich mit den USA nicht vergleichbar ist. H. STUMPF (1976) hat auf die Gefahren der Imitation "amerikanischer Verhältnisse" nachdrücklich hingewiesen.

Er gibt eine Gesamtschau der zivilisationsökologischen Situation der Bundesrepublik. Dabei behandelt er u.a.:

- ökologische und ökonomische Einzelheiten
 - soziale und psychologische Aspekte
 - "Enthemmung als Zivilisationsprozeß"
 - Die Rolle der Wirtschafts- bzw. Konsumgüter-Werbung
 - Details über des Konsumverhalten der Bevölkerung, unter besonderer Berücksichtigung der Ausgaben für Genußmittel, insbesondere Nikotin und Alkohol
 - Auswirkungen auf die Volksgesundheit, etwa durch unmäßigen Gebrauch von Genußmitteln oder durch Umweltverschmutzung
 - Die sozialen Kosten des Wachstums, bekannt als "Kostenexplosion im Gesundheitswesen" und die Frage, ob man durch Wachstum mehr soziale Probleme schafft als man löst
- etc., etc..

An den auf Wachstum ausgerichteten Zielvorstellungen der Verantwortlichen in Wirtschaft und Politik ("Expansionsmodell" (62)) kritisiert der Autor insbesondere die Probleme der Überschußproduktion, der Rohstofferschöpfung und der Ökosystemzerstörung.

Abschließend zum Themazivilisationsökologische Belastungsdichte im internationalen Vergleich sei erlaubt nochmals STUMPF zu zitieren:

"Neben Holland, Belgien und Großbritannien ist die Bundesrepublik daher eines der durch hohe Bevölkerungsdichte und Industriekonzentration am umwelt- und sozialgefährdetsten Länder. Durch die Insel-lage sind das in der Umwelt- und Sozialproblematik mit der Bundesrepublik vergleichbare Japan und Großbritannien zumindest klimatisch gegenüber Umweltbelastungen begünstigt. Die Bundesrepublik nimmt daher in der Umwelt- und Sozialgefährdung eine Spitzenstellung in der Welt ein, d.h. die Bundesrepublik ist ein sozio-ökologisches Pulverfaß."

(H. STUMPF, 1976 (62)).

2.4.4 Bevölkerungsentwicklungen - Rohstoffverbrauch - Resultierende Aussichten für die Dritte Welt

In den Abbildungen 18 - 20 (S. 47 ff) wurde deutlich, daß von den vielen Ursachen zur Verschärfung des Nord-Süd-Konfliktes eine nicht zu unterschätzende Ursache mathematischer Art ist:

Die exponentiell wachsende Differenz zweier exponentiell wachsender Größen. Zur Erhärtung dieser Aussagen sei auf die Kurven der Abbildungen 37 und 38 (S.88/89) und die Kurven der Abbildung 18 (S. 47) verwiesen: Die Kurven haben im wesentlichen die Eigenschaft, im Verlauf der Zeit auseinanderzustreben, was eine Verschärfung des Gegensatzes zwischen Armut und Reichtum bedeutet.

Ein Ausgleich oder auch nur eine Verbesserung dieses Gegensatzes ist nur möglich, wenn die reichen Länder eine möglichst kleine, und die armen Länder eine möglichst hohe wirtschaftliche Zuwachsrate erreichen. Nur dann kann es - rein rechnerisch - gelingen, daß die armen Länder die reichen Länder "einholen".

Diese Frage soll modellmäßig am Beispiel des Pro-Kopf-Verbrauches von Mineralöl in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) und in Indien erörtert werden.

Im Beispielsjahr 1972 verbrauchte ein Deutscher ca. 228 Tonnen und ein Inder ca. 0,035 Tonnen Mineralöl. Wenn der Inder nun seinen Jahresverbrauch ständig um 5 % steigern würde, dann erreichte er nach 85,6 Jahren erstmals den für das Jahr 1972 errechneten Jahresverbrauch.

$$(0,035 \cdot (1,05)^{85,6} = 2,28))$$

Bei Berücksichtigung der Tatsache, daß der Inder in den Jahren vor 1972 weniger verbrauchte als der Deutsche, ist der kumulierte Verbrauch des Inders innerhalb der 85,6 Jahren noch kleiner als der des Deutschen. Dazu soll in Erinnerung gerufen werden, daß (1972) für das Ausreichen der Welt-Mineralölvorräte 22 Jahre bzw. unter der Annahme, daß die Vorräte verdoppelt werden könnte, 32 Jahre errechnet wurden.

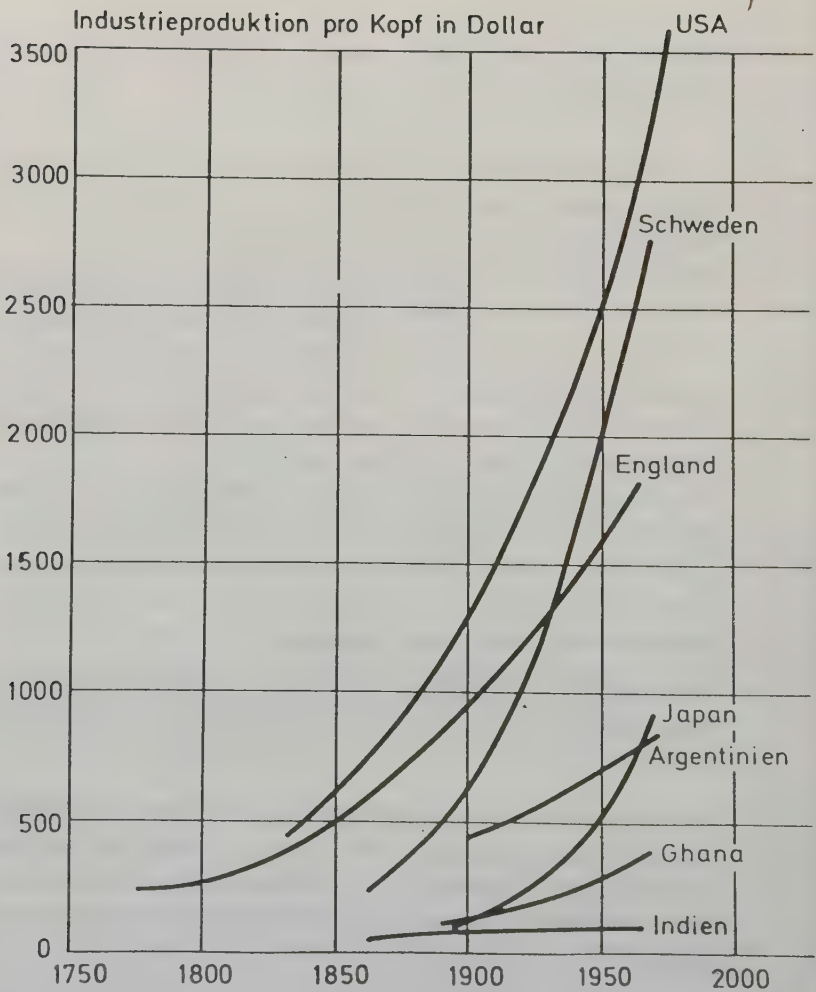


Abb. 37 : Wirtschaftliche Wachstumsraten

Das wirtschaftliche Wachstum der einzelnen Länder läßt erkennen, daß die Unterschiede der exponentiellen Wachstumsraten das bestehende Gefälle zwischen den reichen und den armen Ländern ständig vergrößern (Quelle: D. MEADOWS, 1972 (³⁹))

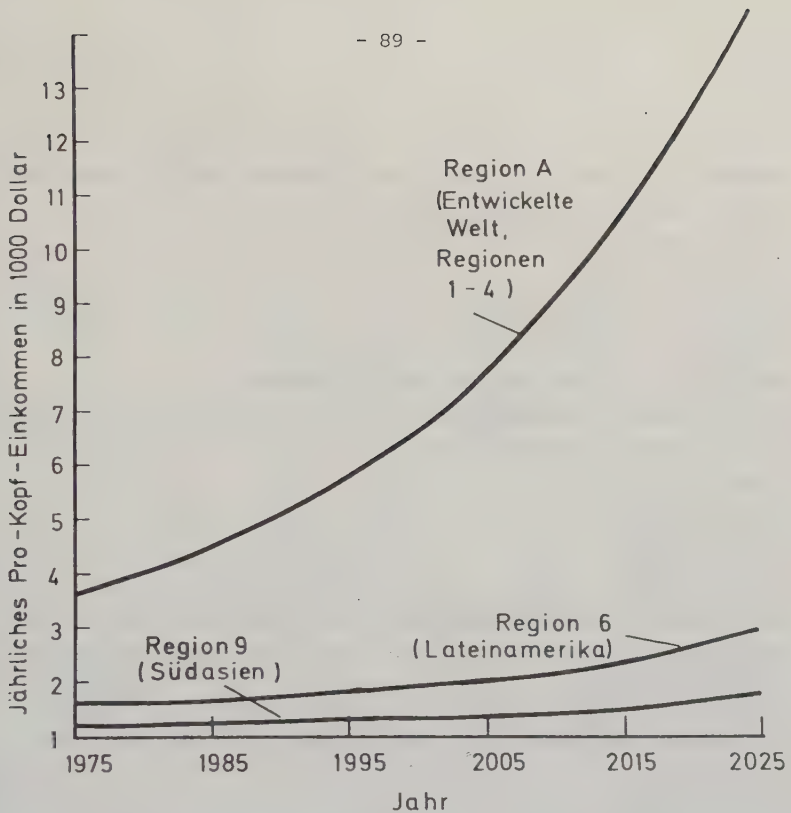


Abb. 38 Hochrechnung der interregionalen Wohlstandskluft entsprechend der bisherigen Entwicklung

Das Diagramm zeigt das wirtschaftliche Wohlstandsgefälle, das sich zwischen den "westlichen" industrialisierten Regionen 1 bis 4 einerseits und Lateinamerika und Südasiens andererseits immer krasser einstellt, falls die gegenwärtige Entwicklung ohne grundsätzliche Änderung weitergeht. Lateinamerika und Südasiens sind in dieser Darstellung unterschiedliche Vertreter der Entwicklungsregionen. Das Mißverhältnis des Pro-Kopf-Einkommens in Lateinamerika zu dem durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommen in den "westlichen" Industrieregionen fällt im Laufe der nächsten 50 Jahre von 1:5 auf 1:8. In Südasiens stagniert das Pro-Kopf-Einkommen auf einer relativen Höhe, die nur 5 % des Einkommens in den Industrieländern beträgt.

(Quelle: M. MESAROVIC/E. PESTEL, 1974 (40)).

Hinweis: Zur Region A gehören: 1) Nordamerika, 2) Westeuropa, 3) Japan, 4) Australien, Südafrika und der Rest der marktwirtschaftlich entwickelten Welt.

In den Abb. 39 und 40 (S.91/92) ist angenommen, daß die Zuwachsrate des jährlichen Pro-Kopf-Verbrauchs

- in der BRD nur 2 %

- in Indien dagegen 8 %, 10%, 12 %, 15 % und 20 % betragen würde.
(Kurvenbezeichnungen A, B, C,D, E)

Abb. 38 (S.89) bezieht sich auf den jährlichen Verbrauch,

Abb. 40 (S.92) auf den kumulierten Verbrauch.

Bei den angeführten Zuwachsraten "überholt" der Inder den Deutschen nach folgenden Zeitintervallen:

8 % : 73 Jahre
10 % : 55 Jahre
12 % : 44 Jahre
15 % : 34 Jahre
20 % : 25 Jahre

Bei 10-mal so großer Zuwachsrate (20 %) wie der Deutsche hat, wird es dem Inder nicht gelingen, den Deutschen einzuholen, bevor die Ölvorräte erschöpft sind.

Bei kumuliertem Verbrauch (s. Abb. 40 (S. 92)) errechnen sich die Werte:

8 % : 94 Jahre
10 % : 73 Jahre
12 % : 59 Jahre
15 % : 47 Jahre
20 % : 35 Jahre

Bei der Betrachtung des unterschiedlichen Reichtums der Bundesrepublik Deutschland und Indiens - am Beispiel des Ölverbrauches - wurde die unterschiedliche Bevölkerungsentwicklung der beiden Länder noch nicht berücksichtigt.

Von den vielen Möglichkeiten, bei verschiedenen Nationen die beiden Aspekte

- unterschiedlicher Reichtum

- unterschiedliche Bevölkerungsentwicklung ;

in Rechenmodellen zu koppeln. sind in den Abbildungen 41 und 42 zwei Modellbeispiele gegeben.

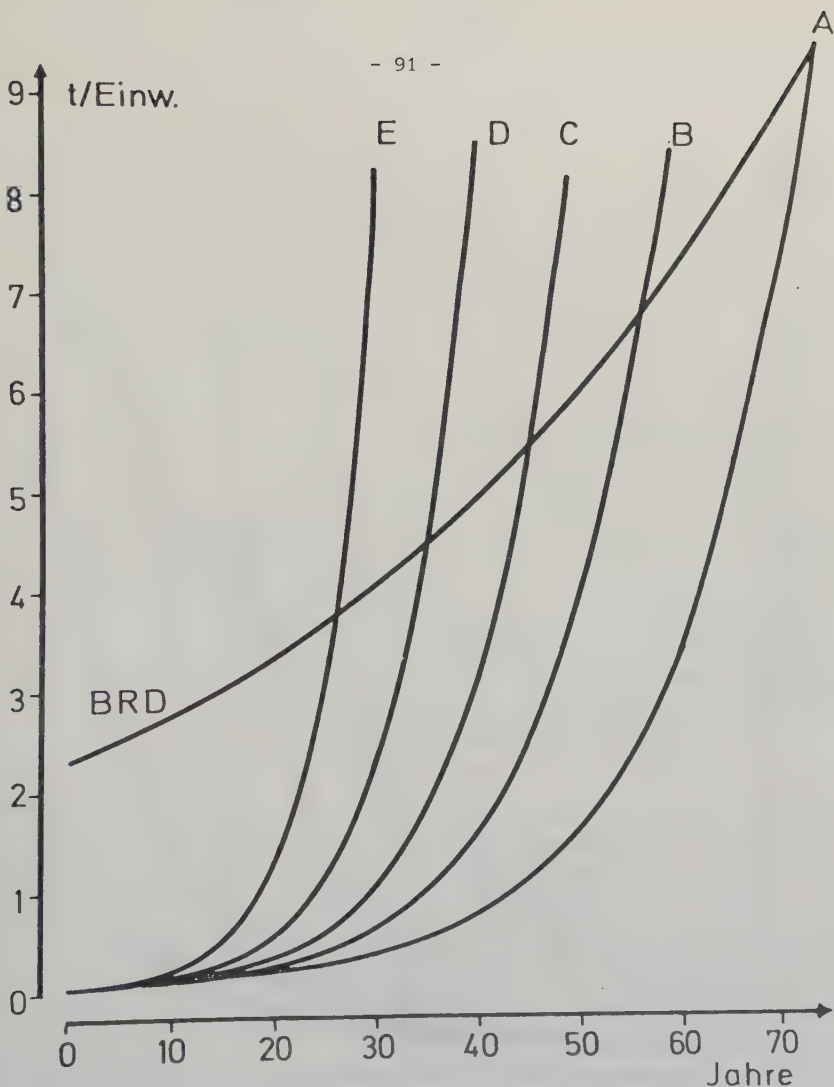


Abb. 39 : Jährlicher Pro-Kopf-Verbrauch an Mineralöl eines Deutschen und eines Inders (Ausgangsjahr: 1972). Für den Deutschen ("BRD") ist eine jährliche Zuwachsrates von nur 2 % angenommen, für den Inder werden in den Kurven A - E höhere Zuwachsrates angenommen: A: 8 %, B: 10 %, C: 12 %, D: 15 %, E: 20 % (Genaueres im Text).

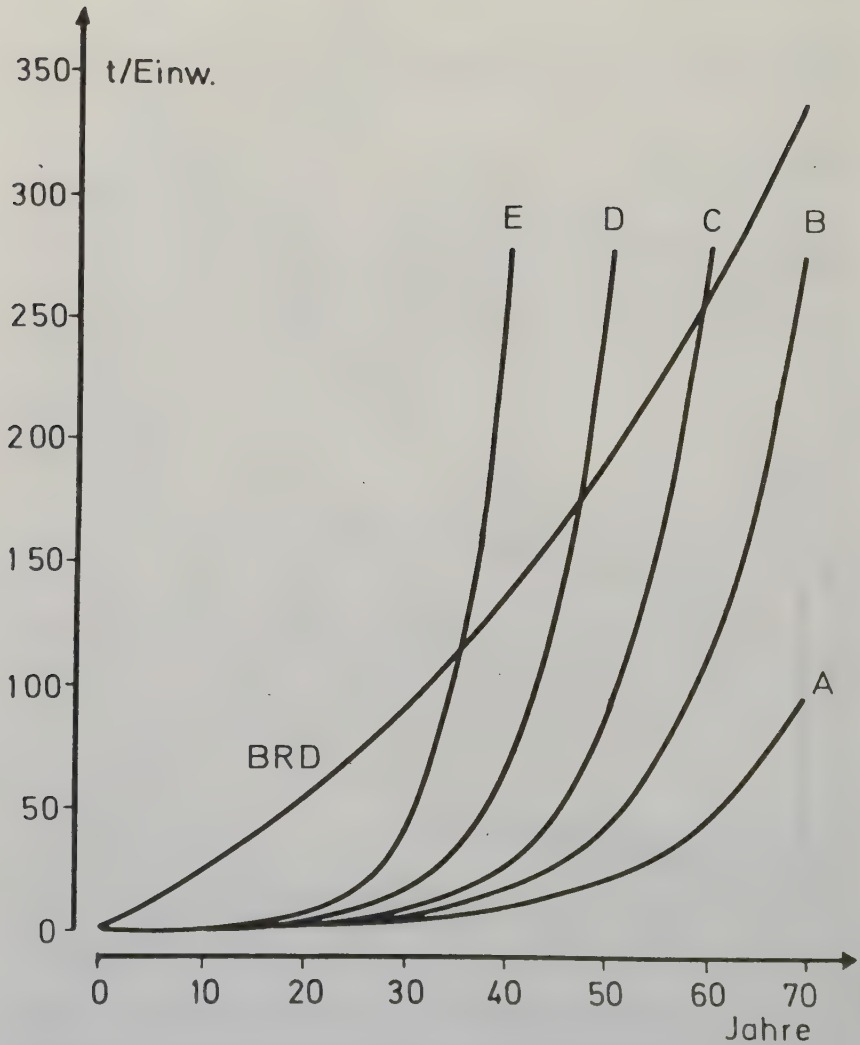


Abb. 40 : Kumulierter Pro-Kopf-Verbrauch an Mineralöl eines Deutschen und eines Inders (Ausgangsjahr: 1972). Für den Deutschen ("BRD") ist eine jährliche Zuwachsrate von nur 2 % angenommen, für den Inder werden in den Kurven A - E höhere jährliche Zuwachsraten angenommen:
A: 8 %, B: 10 %, C: 12 %, D: 15 %, E: 20 %
Hinweis: Die erwähnten Zuwachsraten beziehen sich - wie in Abb. 39 - auf das Wachstum des jährlichen (und nicht etwa des kumulierten) Pro-Kopf-Verbrauches.

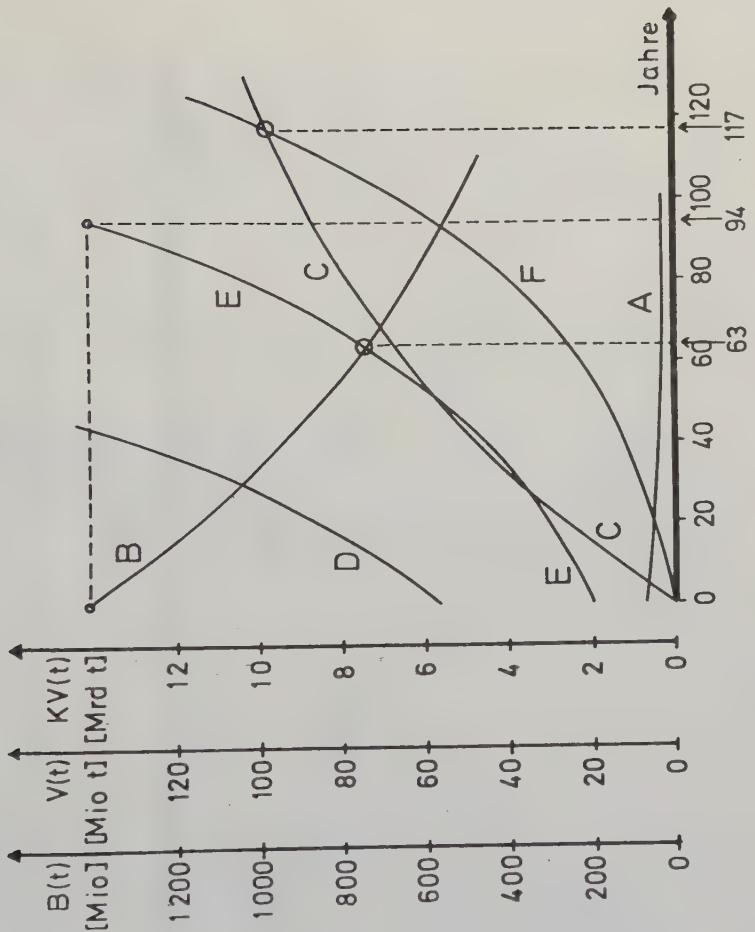


Abb. 41 : Modellsimulation: Bevölkerungszahl und Mineralölverbrauch als Funktion der Zeit in der Bundesrepublik Deutschland und in Indien - Genaueres auf der folgenden Seite 95

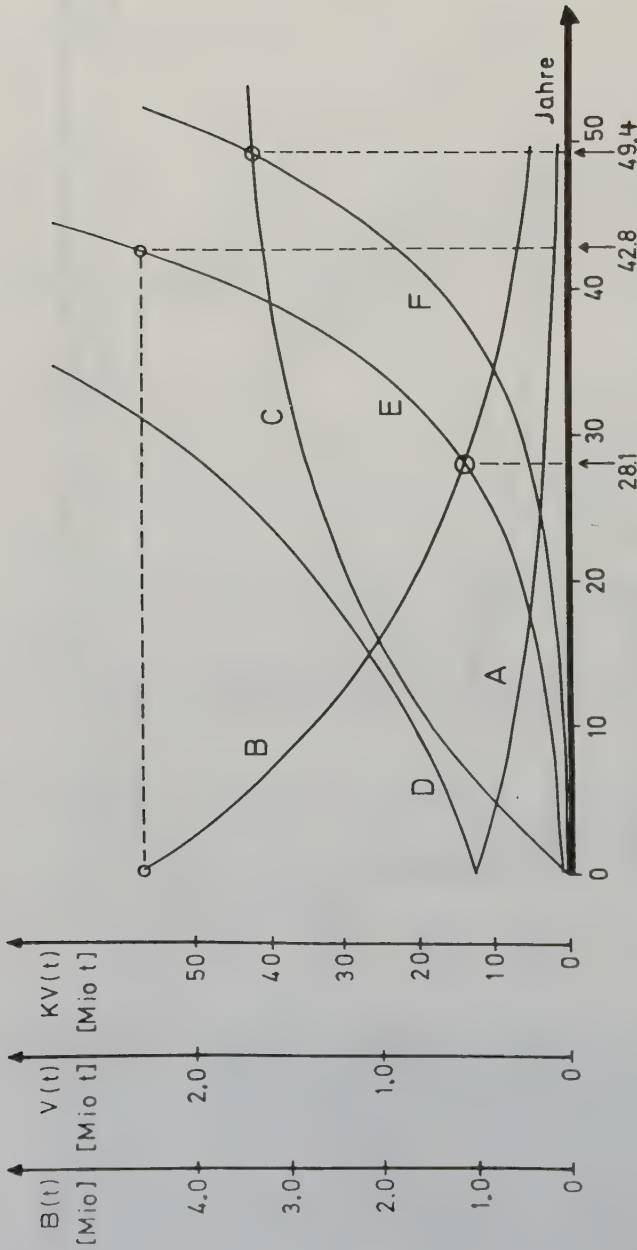


Abb. 42 : Modellsimulation: Bevölkerungszahl und Mineralölverbrauch einer deutschen und einer indischen Bevölkerungsgruppe, die ursprünglich jeweils 1 Mio Menschen umfaßt - Genauer auf S.95

Abb. 41 (S. 93) zeigt die Bevölkerungszahlen von 1972 in der Bundesrepublik Deutschland (61,672 Mio) und in Indien (563,5 Mio) (77). Bei der indischen Bevölkerung wird von einer jährlichen Zunahme um 2,1 % (Angaben der UNO, 1976 (77)), bei der deutschen Bevölkerung von einer jährlichen Abnahme um 1 % ausgegangen.

Erläuterungen zu Abb. 41

Modellsimulation: Bevölkerungszahl und Mineralölverbrauch als Funktion der Zeit, in der Bundesrepublik Deutschland und in Indien. Ölverbrauch im Ausgangsjahr 1972: 140,7 Mio t in der BRD und 19,7 Mio t in Indien. Annahme: Die Bevölkerung in der BRD nehme jährlich um 1 % ab, und die Bevölkerung in Indien nehme jährlich um 2,1 % zu; die gleichen prozentualen Veränderungen mögen für den Ölverbrauch gelten, so daß in beiden Ländern der Pro-Kopf-Verbrauch jeweils gleich bleibt. Die Kurven A - F stellen für die BRD bzw. für Indien die Bevölkerungszahl ($B(t)$), den gesamten jährlichen Verbrauch ($V(t)$) und den gesamten kumulierten Verbrauch $KV(t)$ dar:

	$B(t)$	$V(t)$	$KV(t)$
BRD	A	B	C
Indien	D	E	F

(Genaueres im Text)

Erläuterung zu Abb. 42

Modellsimulation: Bevölkerungszahl und Mineralölverbrauch als Funktion der Zeit in einer deutschen (BRD) und einer indischen Bevölkerungsgruppe, die ursprünglich jeweils 1 Mio Menschen umfaßt. - Annahmen: Die deutsche Bevölkerungsgruppe nimmt zahlenmäßig jährlich um 5 % ab, die indische jährlich um 5 % zu. Der deutsche Pro-Kopf-Verbrauch bleibt konstant, der indische Pro-Kopf-Verbrauch wächst jährlich um 5 %. Pro-Kopf-Verbrauch an Öl im Ausgangsjahr 1972: BRD: 2,28 t; Indien: 0,035t; die in der Abbildung dargestellten Werte des jährlichen Verbrauchs ($V(t)$) bzw. des kumulierten Verbrauchs ($KV(t)$) sind nicht die Pro-Kopf-Werte, sondern die Gesamt-Werte der betreffenden Bevölkerungs-

gruppe. Die Kurven A - F stellen die Bevölkerungszahl ($B(t)$), den jährlichen ($V(t)$) und den kumulierten ($KV(t)$) Ölverbrauch als Funktion der Zeit t dar:

	$B(t)$	$V(t)$	$KV(t)$
BRD	A	B	C
Indien	D	E	F

(Genaueres im Text)

Das wesentliche Ergebnis von Abb. 41 (S. 93) ist:

1. Bezüglich des jährlichen Verbrauches $V(t)$ hat das Land Indien die Bundesrepublik Deutschland nach 63 Jahren eingeholt.
2. Nach 94 Jahren ist der Jahresverbrauch in Indien so groß, wie es der Jahresverbrauch in der BRD im Ausgangsjahr (1972) war.
3. Bezüglich des kumulierten Verbrauchs hat Indien die BRD erst in 117 Jahren eingeholt.

In Abb. 42 (S. 94) wird der Modellrechnung eine deutsche und eine indische Bevölkerungsgruppe, die beide im Ausgangsjahr 1972 jeweils 1 Mio Menschen umfaßt zugrunde gelegt. Dabei wird für die deutsche Bevölkerungsgruppe eine jährliche Abnahme von 5 % und für die indische Bevölkerungsgruppe eine jährliche Zunahme von 5 % angenommen.

Der Pro-Kopf-Verbrauch des Ausgangsjahres (1972) soll

- in der deutschen Bevölkerungsgruppe zeitlich stets konstant bleiben
- in der indischen Bevölkerungsgruppe jährlich um 5 % wachsen.

Die indische Bevölkerungsgruppe ist also gekennzeichnet durch

- Wachstum des Pro-Kopf-Verbrauchs
- Wachstum der Bevölkerungszahl;

die deutsche Bevölkerungsgruppe dagegen durch

- Konstanz des Pro-Kopf-Verbrauchs
- Abnahme der Bevölkerungszahl

Die Annahmen der Änderung der Bevölkerungszahlen der deutschen bzw. indischen Bevölkerungsgruppe von -5 % und +5 % sind utopisch. Sie

wurden als Input in die Modellrechnung nur eingesetzt, um die vielzitierte Bevölkerungsexplosion der Dritten Welt und die Bevölkerungsabnahme mancher reichen Länder sichtbarer zu vergleichen, unter dem Aspekt der angedeuteten Frage:

"Welche Rolle spielt im zukünftigen Rohstoffverbrauch verschiedener Länder

die Komponente der unterschiedlichen Bevölkerungsentwicklung einerseits

und die Komponente des unterschiedlichen Pro-Kopf-Verbrauches andererseits?"

Der besseren Vergleichbarkeit wegen wurde in Abb. 42 (S. 94) von gleichen Bevölkerungszahlen, nämlich von jeweils 1 Mio Menschen (1 Mio Deutsche - 1 Mio Inder) ausgegangen.

Das wesentliche Ergebnis von Abb. 42 (S. 94) ist:

1. Bezüglich des jährlichen Verbrauches überholt die indische Bevölkerungsgruppe die deutsche Bevölkerungsgruppe in 28 Jahren, also (gerechnet vom Ausgangsjahr 1972 an) um die Jahrtausendwende
2. 42 Jahre nach dem Ausgangsjahr ist der Jahresverbrauch der indischen Bevölkerungsgruppe so groß, wie der Jahresverbrauch der deutschen Bevölkerungsgruppe im Ausgangsjahr war.
3. Bezüglich des kumulierten Verbrauches holt die indische Bevölkerungsgruppe die deutsche Bevölkerungsgruppe in etwas mehr als 49 Jahren, also in knapp einem halben Jahrhundert ein. Bis dahin sind die Ölvorräte selbst dann erschöpft, wenn die derzeitigen Ölvorräte von 100 Mrd. Tonnen verfünffacht werden sollten".

Wenn es also trotz der sehr drastischen Annahmen in Abb. 42 (S. 94), ein halbes Jahrhundert - also viel länger als die Vorratsdauer des Erdöls - dauert, bis die indische Gruppe so viel verbraucht hat wie die deutsche, dann liegt folgende Schlußfolgerung auf der Hand: Anbetrachts der zunehmenden Rohstoffverknappung stellt weniger das Wachstum der indischen Bevölkerungsgruppe als vielmehr der hohe Pro-Kopf-Verbrauch der deutschen Bevölkerungsgruppe das eigentliche Problem dar.

In den Abb. 39 - 42 S. 91 , S. 94) wurden Armut und Reichtum im Weltmaßstab illustriert am Beispiel des Ölverbrauches,

und hier, am Ende des letzten Abschnitts des letzten Kapitels schließt sich der Kreis zum Anfang der Arbeit:

Zu Anfang wurden die Langzeitaspekte der Umweltproblematik konkretisiert am Beispiel der erdgeschichtlichen Öl-Entstehung einerseits und des menscheitsgeschichtlich-zivilisatorisch bedingten Öl-Verbrauches andererseits.

Die Natur hat im Verlauf erdgeschichtlicher Zeiträume Ölvorräte entstehen lassen, die heute mit ungeheurer Geschwindigkeit verbraucht werden.

Es wurde gezeigt, daß die Rohstoff-Problematik nicht nur darin besteht, daß die Menschheit wächst und deshalb immer mehr Rohstoffe verbraucht, sondern auch darin, daß die reichen Länder einen so extrem hohen Pro-Kopf-Verbrauch an Rohstoffen haben.

Die Verknappung der natürlichen Vorräte unseres Planeten ist nur ein Teilgebiet jenes äußerst umfangreichen Problemkomplexes, der "Ökokrise".

3. ZUSAMMENFASSUNG

Aufgabe dieser Veröffentlichung war

- konkrete Ansätze zur Standortbestimmung der Umweltproblematik zu entwickeln
- einen in sich abgerundeten und in sich konsistenten Beitrag zu einer qualitativ eigenständigen Gesamtschau der Ökokrise zu entwickeln

In Kapitel I wird auf dem Hintergrund der erd- und evolutionsgeschichtlichen Entwicklung die gegenwärtige Ökokrise aufgezeigt und dargelegt, wie der Mensch heute Werte, die im Verlauf von Jahrmillionen entstanden sind, mit geradezu ungeheurer Geschwindigkeit verbraucht bzw. zerstört (Beispiel: Erdgeschichtliche Erdöl-Entstehung und gegenwärtiger Erdöl-Verbrauch). Der Gegensatz zu dem - in der mitteleuropäischen Forstwirtschaft bestehenden - auf Langfristigkeit ausgerichteten Prinzip der Nachhaltigkeit wird beleuchtet.

"Wir müssen unsere Vorstellung über Nachhaltigkeit, Langfristigkeit und Konservation in alle öffentlichen Bereiche, vor allem in die Wirtschaft und Politik hineintragen". (PRODAN, 1976)

Kapitel II befaßt sich mit dem Beispiel exponentiellen Wachstums der Weltbevölkerung unter Langzeitaspekten. Dabei wird auf die Verknappung des Lebensraumes und das hiermit zusammenhängende Phänomen der (Flächen-) Belastungsdichte hingewiesen.

Ausgehend von dem Faktum, daß viele Phänomene und Probleme exponentiell wachsen, befaßt sich Kapitel III mit der Frage: Welches sind die mathematischen Eigenschaften von Exponentialfunktionen, und welches sind die hieraus resultierenden praktischen Konsequenzen hinsichtlich der Beurteilung der Ökokrise?

Eine zusammenhängende Reihe von Abbildungen (Abb. 7 - Abb. 20, S.36ff; und Abb. 39 und 40, S.91/92) dienen der Anschaulichkeit. Bei expo-

nentiellern Wachstum dann sind - aus mathematischen Gründen - zu jedem Zeitpunkt folgende Aussagen gültig:

- Noch niemals war das Problem so groß wie jetzt
- Noch niemals hat sich das Problem mit so großer Geschwindigkeit verschlimmert wie jetzt
- Noch niemals war die "Beschleunigung des Problems" so groß wie jetzt, d.h. noch niemals hat sich die Geschwindigkeit der Verschlimmerung des Problems so stark gesteigert wie jetzt (Es ist schwierig, in der Alltagssprache zum Ausdruck zu bringen, daß nicht nur die Exponentialfunktionen (mit positivem Exponenten), sondern auch die entsprechenden höheren Ableitungen ständig wachsen).

Die mathematischen Eigenschaften von Exponentialfunktionen stehen im Gegensatz zum gefühlsmäßigen linearen Denken des Menschen.

Aus den Aussagen ("Noch niemals...") resultiert hinsichtlich der Umweltproblematik der Satz:

Die Umweltproblematik trägt den Charakter des Einmaligen und bisher noch niemals Dagewesenen. Die Situation ist historisch ohne Vorbild.

Eine besondere Eigenschaft von Exponentialfunktionen: Wenn zwei verschieden große Werte mit gleicher Zuwachsrate exponentiell wachsen, dann wächst die Differenz zwischen diesen beiden Werten auch exponentiell, und zwar mit gleicher Zuwachsrate. Ein Beispiel dafür ist der unterschiedliche Pro-Kopf-Verbrauch an Rohstoffen in einem reichen und in einem armen Land: Bei gleicher Zuwachsrate wächst die Differenz zwischen den Pro-Kopf-Verbrauchswerten - ebenfalls exponentiell.

Im Kapitel IV wurden verschiedene Länder und Regionen der Erde bezüglich "Pro-Kopf" und "Pro-km²-Ausgaben verglichen. Die Pro-Kopf-Werte zeigen den unterschiedlichen materiellen Reichtum der Länder,

die Pro-km²-Werte, die unterschiedlichen zivilisationsökologischen Belastungsdichten (Belastungsparameter) der Länder auf.

Vierzehn Abbildungen (Abb. 22 - 35, S. 72/84 verdeutlichen das Gesagte. Der Aspekt der zivilisationsökologischen Belastungsdichte ist von besonderer Bedeutung für die Landschaftsökologie, die Landesplanung bzw. die Raumordnung.

Am Beispiel des Bruttosozialproduktes sowie des Rohstoff- und Energieverbrauches wurde der sehr unterschiedliche Wohlstand der Nationen illustriert. Die Chancen der Anpassung der Dritten Welt an die reichen Nationen wurde am Beispiel des Ölverbrauches in der BRD und in Indien konkretisiert. Selbst bei Annahme hoher Zuwachsraten dürfte es dem Inder nicht mehr gelingen, den Deutschen "einzuholen", bevor die Ölvorräte erschöpft sind.

Pointiert formuliert:

Anbetrachts der Ölverknappung stellt weniger das Bevölkerungswachstum in Indien als der sehr hohe Pro-Kopf-Verbrauch in der BRD das eigentliche Problem dar.

Zum Abschluß sei angemerkt: Das Thema "Ökokrise" berührt viele geisteswissenschaftliche und fast alle naturwissenschaftlichen Disziplinen. Mit der hier vorliegenden Veröffentlichung wurde versucht, einen globalen und grundsätzlichen ökologischen Hintergrund des Arbeitsgebietes der Biometrie zu erstellen.

RÉSUMÉ

Considérations pour préciser les problèmes du milieu humain.

L'homme utilise et consomme les ressources naturelles accumulées pendant des millions d'années avec une rapidité catastrophale. Cet égoïsme se trouve en controdiction avec le principe de continuité et du rapport soutenu observé dans la silviculture européenne.

L'accroissement exponentiel des divers facteurs par exemple l'accroissement explosive de la population humaine mondiale cause des graves problèmes pour l'humanité entière.

Les propriétés des fonctions qui expriment l'accroissement exponentiel sont discutées parceque la plupart des hommes accusent seulement une croissance linéaire qui est plus facile de considérer.

Un exemple très éloquent est la quantité du pétrole consommé qui caractérise en même temps les différences de l'industrialisation des états.

Dans le dernier chapitre on présente diverses données statistiques rapportées au nombre des habitants et à la surface des pays comme chiffre caractéristique pour l'impact écologique.

On peut demontrer ainsi que l'Allemagne fédérale subit - en échelle internationale - l'impact le plus grand de tous les pays.

La prospérité très différente entre les nations et le conflit Nord-Süd sont présentés par l'exemple du consum du pétrole de l'Allemagne fédérale et de l'Inde.

SUMMARY

Statements for conceptual positions of the Environmental problems.

The aim of this publication was to:

- develop and provide concrete statements about the conceptual positions of the Environmental Problems
- to give a contribution for a qualitative general view of the ecocrisis.

The extreme speed of the exploitation or total destruction of natural resources of geological ages is presented in chap. 1. This (in)human egotism is contradictory to the long term view of the sustained yield and continuity principle of the traditional european forest economic principles.

The facts and impacts of the exponential growth specially the growth of the human population are discussed in chap. II.

The proprieties of the exponential functions and the difficulties of the human mind to realise the conclusions of an exponential development are presented in chap. III.

Numerous examples for the linear thinking of men are given, specially the consumption of the world oil reserves.

The statistical figures of the production and consumption related to the population (= per capita) or related to the land area (per km^2) as a measure of the impact on the environment, are given in chap. IV.

A comparison between industrial states of the northern hemisphere (ex. Fed.Rep.of Germany) and a nonindustrial state in the southern regions (ex.: India) illustrates this problem.

- ELSTER, H.-J.: Der Bodensee - Bedrohung und Sanierungsmöglichkeiten eines Ökosystems.
Naturwissenschaften 64, S. 207-215, 1977
- ENGELHARDT von, W.: Raubbau ^{an} den Erzvorräten.
Bild der Wissenschaft, November 1976, S. 78 ff
- FISCHER WELTALMANACH (Fischer Taschenbuch-Verlag, Frankfurt/M.)
Ausgabe 1976, aus der Rubrik "Die souveränen Staaten..."
- FLOHN, H.: Der Wasserhaushalt der Erde, Schwankungen und Eingriffe.
Naturwissenschaften 60, 340 - 348, 1973
- FLOHN, H.: Stehen wir vor einer Klima-Katastrophe?
UMSCHAU in Wissenschaft und Technik, H.17, 1977
- FORRESTER, J.W.: Der teuflische Regelkreis - Das Globalmodell der Menschheitskrise.
Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1971 (dt. 1972)
- FRIDERICHs, H.: Aus gesamtstaatlicher Verantwortung gegen Nullwachstum und Kernenergieverzicht.
Atomwirtschaft/Atomtechnik, 1977
- 19 GABOR, D., U. COLOMBO, u.a.:
Das Ende der Verschwendung - Zur materiellen Lage der Menschheit - Ein Tatsachenbericht an den Club of Rome.
Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1976
- 19a GOMEZ-PAMPA, G., u.a.:
Der tropische Regenwald von endgültiger Vernichtung bedroht.
UMSCHAU in Wissenschaft und Technik, 1973
- 20 GRIM, H.: Der Phosphor und die pflanzliche Produktion im Bodensee.
Gas und Wasserfach (GWf)-Wasser/Abwasser, 1967
- GRUHL, H.: Ein Planet wird geplündert - Die Schreckensbilanz unserer Politik.
S.FISCHER Verlag Frankfurt/M., 1975
- GUNNARSSON, B.: Japans ökologisches Harakiri - oder: Das tödliche Ende des Wachstums - Eine Warnung an die überindustrialisierten Staaten.
rororo-Taschenbuch, 1974
- GÜSTEN, H.: So durchlöchern wir die Atmosphäre.
Bild der Wissenschaft 3/76
- HAMPICKE, U.: Das CO₂-Risiko.
UMSCHAU in Wissenschaft und Technik, H.18, 1977
- HOLLÄNDER, Chr.: Methoden und exemplarische Untersuchungen zur Ermittlung von Wegdichte und anderen Kennzahlen über Landschafterschließung und -belastung.
Mittl. Arbeitskreis für Forstl. Biometrie, 1978

- Jahrbuch der Atomwirtschaft, 1976, handelsblatt GmbH, Verlag für
Wirtschaftsinformation, Düsseldorf, Frankfurt/M.
(S.B 8)
- JAHRBUCH FÜR BERGBAU, ENERGIE, MINERALÖL UND CHEMIE
herausgegeben von H. REINTGES, u.a.,
Verlag Glückauf, Essen, 1976
- JAUMANN, A.: Nullwachstum ist keine Lösung
UMWELT 2/76
- JUNGE, Chr.: Luftchemie, Chlorfluormethan und die atmosphä-
rische Ozonschicht.
UMWELT 6/1975
- JUNGE, Chr.: Das Kohlendioxid und seine Zunahme, Promet-
Meteorologische Fortbildung, H.2. 1975
- KAPP, K.W.: Umweltgefährdung, Nationalökonomie und Forstwissen-
schaft.
FORSTARCHIV, 42. Jg., 1971
- KEIL, W.: Der Zukunft blieb nur Schaden,
U - das technische Umweltmagazin 3/1974
- KÖHLER, H.W.: Weltraumkolonisierung - Utopie oder sinnvolles
Konzept der Zukunft?
Naturwissenschaftliche Rundschau, H.9, 1976
- KRAHL, W.: Richtwerte für die Freiraumplanung.
Mitt.d. Abt. Biometrie der Universität Freiburg,
1976
- KRAHL, W.: Bodenverknappung in Verdichtungsgebieten von Baden-
Württemberg.
Forstarchiv, 47.Jg., 1976
- KREY, J.: Die Urproduktion des Meeres, in:
G.DIETRICH, Erforschung des Meeres.
Umschau Verlag, Frankfurt/M., 1970
- LAUXMANN, F.: Wissen auf Halden statt in Köpfen - Die Menschen sind
überfordert - Sie können die Flut der Information
nicht nutzen.
Die ZEIT, Nr. 27, 24. Juni 1977
- LINDER, H.: Biologie
J.B. METZLER'sche Verlagsbuchh., Stuttgart, 17. Aufl.
1971/73
- MEADOWS, D.: Die Grenzen des Wachstums - Bericht des Club of Rome
zur Lage der Menschheit.
Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1972

MESAROVIC, M., E. PESTEL:

Menschheit am Wendepunkt - 2. Bericht an den Club
of Rome zur Weltlage.
Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1974

METALLGESELLSCHAFT AG (Hrsg.)

METALLSTATISTIK 1964 - 1974, 62. Jg., Frankfurt, 1975

MEYER-ABICH, K.M.: Die Ökologische Grenze des Wirtschaftswachstums.
UMSCHAU in Wissenschaft und Technik, H.20, 1972

MEYER-ABICH, K.M.: Das Gute an der Energiekrise
UMWELT, 4/1973

44 MEYER-ABICH, K.M.: Die Ökologische Grenze des herkömmlichen Wirtschafts-
wachstums, in:
H. von NUSSBAUM, Die Zukunft des Wachstums - Kriti-
sche Antworten zum "Bericht des Club of Rome".
BERTELSMANN Universitätsverlag, Düsseldorf, 1973

44a MEYER, ABICH, K.M.: Wirtschaftspolitische Konsequenzen der Umweltprobleme,
in: Umwelt-Report - Unser verschmutzter Planet, von
SCHULTZE, UMSCHAU-Verlag, Frankfurt/M., 1972

45 NAUMANN, K.: (Herausg.)
Kraftwerk 2000 - Ein energiepolitisches Forum
SEEWALD Verlag Stuttgart, 1975

NEUMANN, H.-J.: Erdöl-Entstehung und Lagerstättenbildung
Chemie in unserer Zeit, 1967

NÜMANN, W.: Wie steht es heute um den Bodensee?
Umschau in Wissenschaft und Technik, H. 19/1976

NUSSBAUM, von H.: (Hrsg.), Die Zukunft des Wachstums - Kritische Ant-
worten zum "Bericht des Club of Rome".
BERTELSMANN Universitätsverlag, 1973

OLTMANN, W.L.: "Die Grenzen des Wachstums" - Pro und Contra.
rororo-Tb., 1974

O'NEILL, G.K.: Umzug ins All.
Bild der Wissenschaft, H.5, 1976

OSCHE, G.: Evolution, 2. Aufl., HERDER, Freiburg
(Reihe: "studio visuell") 1977

OSCHE, G.: Ökologie, HERDER, Freiburg
(Reihe: "studio visuell")

- PRODAN, M.: Verpflichtung der Forstwirtschaft und der Forstwissenschaften.
AFZ 3, 1976
- PRODAN, M.: Wirtschaftstheorie und Zielsetzung in der Forstwirtschaft
FORSTARCHIV, 41. Jg., H.10, 1970
- PRODAN, M.: Zur Bewertung der Sozialfunktionen des Waldes (1):
Der Waldwert nach der Sozial- und Ersatzkostentheorie.
Holz-Zbl., Stuttgart, H. 35, 1969
- PRODAN, M.: Zur Bewertung der Sozialfunktionen des Waldes (2):
Der Waldwert nach dem Prinzip des Nutzungsentganges
Holz-Zbl., Stuttgart, Nr. 57, 1969
- PRODAN, M.: Wirtschaftstheoretische Begründung der Waldwert-
schätzung.
Fo u. Ho-wirt Nr. 23, 1969
- REMANE, STORCH, WELSCH
Evolution.
dtv, Wissenschaftliche Reihe, 1973
- SCHWARTZ, W.: Mikrobiologie des Erdöls - Von der Entstehung bis
zur Lagerstätte.
Naturwissenschaften, 59, 1972
- SITTE, P.: Forschung und Humanität.
Umschau in Wissenschaft und Technik, H. 18, 1976
- SPEIDEL, G.: Alternativen einer nachhaltigen Forstwirtschaft
FORSTARCHIV, 1971
- STUMPF, H.: Leben und Überleben - Einführung in die Zivilisations-
ökologie.
SEEWALD Verlag, Stuttgart, 1976
- STUMPF, H.: Ein Wachstumskonzept und seine Grenzen - Zum Bericht
der Kommission für wirtschaftlichen und sozialen Wandel.
Aus Politik und Zeitgeschichte, Beilage zur Wochen-
zeitung Das Parlament, B 32/1977
- STUMPF, H.: Wirtschaftswachstum und Energieversorgung - Analysen und
Alternativen. Aus Politik und Zeitgeschichte. Beilage
zur Wochenzeitung Das Parlament, B 44/1977
- STUMPF, H.: Das Mißverstehen der Wissenschaft hat fürchterliche
Folgen.
Bild der Wissenschaft, 12/1977
- STUMPF, H.: Damit die Zukunft eine Zukunft hat.
Bild der Wissenschaft, 2/1977

- STUMPF, H.: Die enthemmte Gesellschaft,
Ev. Akad., Bad Boll, PROTOKOLLDIENST 9/1976
- STUMPF, H.: Politischer Offenbarungseid - Vorschau auf die umwelt-
politische Tagung in Bad Boll. NATUR und UMWELT,
H.2, 1975
- STUMPF, H.: Zur Neuorientierung von Wirtschafts-, Wissenschafts-,
Technologie und Energiepolitik unter ökologischen
Nebenbedingungen; in:
NAUMANN, K. (Hrsgb.) Kraftwerk 2000, SEEWALD Verlag
Stuttgart, 1975
- TAYLOR, G.R.: Das Selbstmordprogramm, 3. Aufl., deutsch:
G.B. FISCHER Verlag, Frankfurt, 1971
- UMWELT 2000 (W. KLAUSEWITZ, u.a.) Kleine Senckenberg-Reihe Nr. 3,
Frankfurt, 3. Aufl., 1973
- UNSÖLD, A.: Der neue Kosmos.
SPRINGER Verlag Berlin, 2. Aufl., 1974
- WEIZSÄCKER, v. E.: Kontrolle der Wissensexpllosion - Wie lassen sich
wissenschaftliche Informationsströme steuern?
Ev. Kommentare - Monatsschrift in Kirche und Ge-
sellschaft, 3/1976
- ZIMER, K.E.: Kernenergie-Reserven und langfristiger Energiebe-
darf.
Angewandte Chemie, 83. Jg., H. 1, 1971
- ZÜNDORF, U.: Untergang in Raten?
Dokumentation: "US-Präsident Richard NIXONS Bot-
schaft über die Lage der Nation, Januar 1970",
DROSTE-Verlag Düsseldorf, 1972
- STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND,
herausgeg. vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden.
KOHLLHAMMER, Stuttgart, 1977
- STATISTICAL YEARBOOK, UNITED NATIONS,
Ausgabe 1975, New York, 1976
- "Gesetz zur Förderung der Stabilität und des Wachstums der Wirtschaft"
Bundesgesetzblatt, Teil I, 1967, Ausgegeben zu Bonn
am 13. Juni 1967, Nr. 32, S. 582-589

5. Lebenslauf - Bildungsgang

Am 11.2.1946 wurde ich als Sohn des Maurers und Landwirtes Johann Schwitte und seiner Ehefrau Anne geb. Mössing in 427 Dorsten (Krs. Recklinghausen) geboren. Meine Kindheit verbrachte ich in meinem Elternhaus in 4284 Heiden (Krs. Borken/Westfalen).

Im Februar 1966 erwarb ich am Altsprachlichen Zweig des Staatlichen Gymnasiums in 442 Coesfeld (Westf.) das Zeugnis der Reife.

Vom Sommersemester 1966 an studierte ich an der Universität Münster/Westf. kath. Theologie und Philosophie, vom Sommersemester 1967 an zusätzlich Physik, Chemie und Biologie.

Ab Sommersemester 1968 konzentrierte ich mich nur auf das Studium der Chemie (Studienrichtung: "Diplom", die anderen Fächer ließ ich weg). Im Oktober 1969 legte ich die Vordiplom-Prüfung ab, und zum Sommersemester 1970 wechselte ich zur Universität Freiburg/Br.. Hier spezialisierte ich mich auf die Physikalische Chemie, und nach Ablegung des mündlichen Teils der Diplom-Prüfung im Jahre 1972 fertigte ich 1973 die Diplomarbeit an, und zwar bei Herrn Prof. Dr. E. Funck vom Institut für Physikalische Chemie. Thema der Diplomarbeit: "Infrarotspektroskopische Untersuchungen am System Lithiummetaborat-Wasser". (Datum der Diplom-Urkunde: 14.12.1973)

Seit dem 12.4.1973 bin ich verheiratet (keine Kinder).

Etwa seit 1970 befasse ich mich mit interdisziplinären Umweltschutz-Fragen. Schwerpunkte hierbei sind die Kernenergie-Diskussion, sowie Fragen der Luft- und Wasserverschmutzung. Zur Vertiefung der beiden letztgenannten Disziplinen habe ich mehrere Semester

- Meteorologie/Klimatologie (bei Prof. Dr. W. Weischet und Prof. Dr. A. Kessler), und
- Limnologie (bei Prof. Dr. H.J. Elster und Prof. Dr. J. Schwoerbel)

studiert.

Meine Dissertation "Ansätze zur Standortbestimmung der Umweltproblematik" ist in den Jahren 1974-1977 entstanden, am 19.6.1978 war die Verkündung des Prüfungsergebnisses der Doktor-Promotion.

Freiburg/Br., im Oktober 1978

Josef Schwitte



